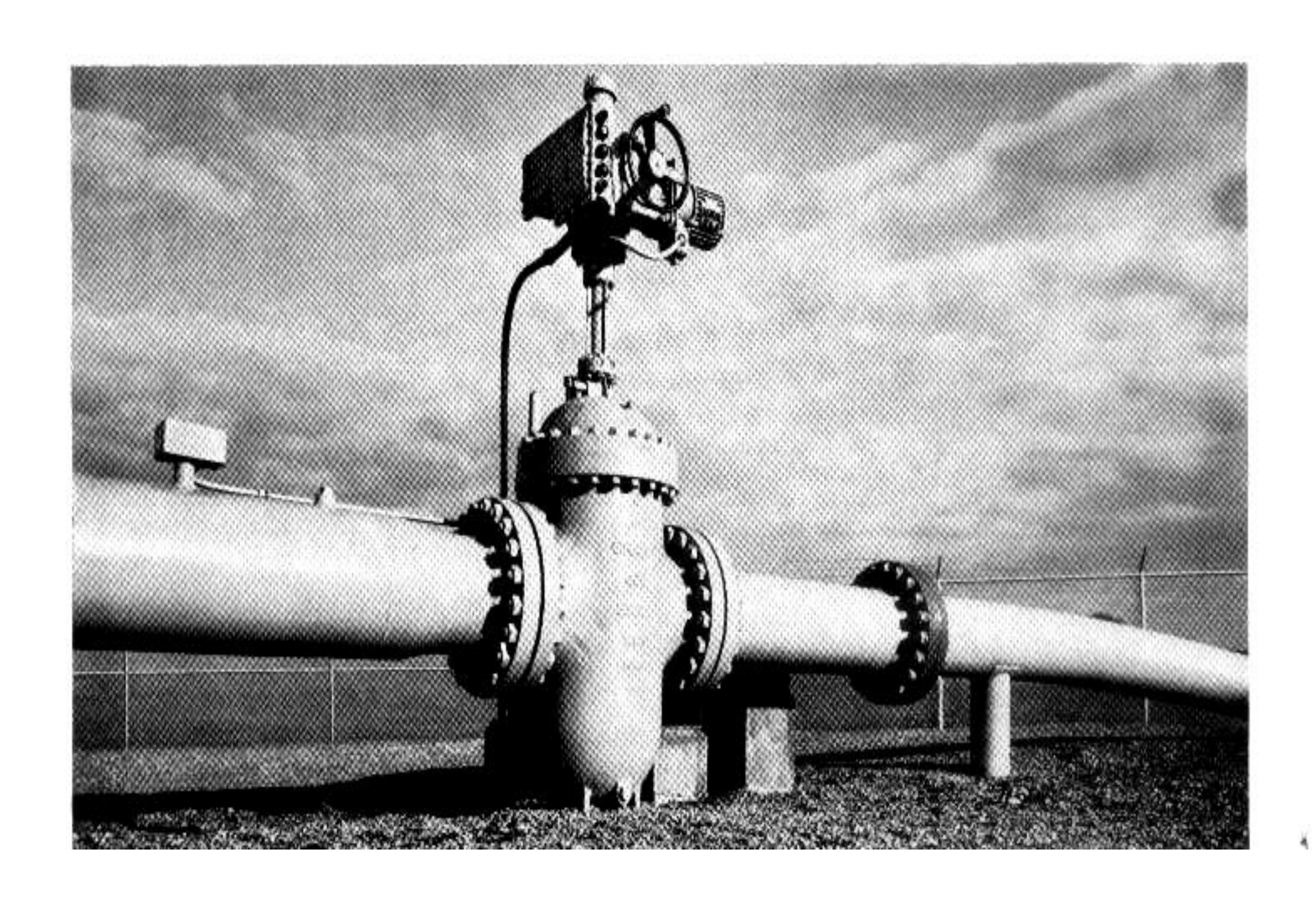
التصميمات الهيدروليكية

لشبكات وخطوط أنابيب نقل البترول



مهندس

حســـن وجـــدى

بسم الله الرحمن الرحيم

" نرفع درجات من نشاء وفوق كل ذى علم عليم "

صدق الله العظيم

مقدمـــة

نظراً للحاجة الملحة إلى دراسة متخصصة تتناول موضوع

"التصميمات الهيدروليكية لشبكات وخطوط أنابيب نقل البترول"

وقد أعددت هذه الدراسة باللغة العربية مدعومة بالمصطلحات الإنجليزية راجياً من الله عز وجل أن توضح الموضوعات التى قد تكون مبهمة فى هذا المجال كما أن إحتواء هذه الدراسة على بعض المعادلات والجداول والقواعد الهيدروليكية المستنتجة بمعرفتى والأمثلة والخرائط والرسومات التوضيحية والتى حاولت جاهداً أن أجعلها مبسطة حتى يتسنى لكل دارس أو متخصص فى هذا المجال أن يتناولها بكل سلاسة ويسر راجياً من الله عز وجل أن تعود هذه الدراسة بالنفع على جميع المهتمين بهذا المجال

مهندس/ حسن وجدى

جمهورية مصر العربية فى يناير ٢٠١٨

بريد إلكترونى hassan_wagdi@yahoo.com

محمول **٠١٢٨١٠٩١٠٥٩**

أهداف الدراسة

١- الإختيار الأمثل لأقطار خطوط الأنابيب الرئيسية لنقل البترول(Trunk Pipe Lines) مما يحقق أقل قيمة لرأس المال اللازم لإنشاء خط الأنابيب وأقل تكلفة نقل للمتر المكعب وأيضاً يحقق أعلى إستفادة من الإستثمارات المدفوعة فى أى وقت فور ضخ هذه الإستثمارات

٢- الإختيار الأمثل لأقطار خطوط أنابيب تجميع وتوزيع البترول (Gathering &Distribution Pipe Lines)

٣- الإختيار المناسب لأقطار شبكات الخطوط الداخلية بالمحطات لأغراض إستلام البترول على المستودعات والسحب من المستودعات للطلمبات (Piping Networks)

٤- الإختيار الأمثل لمحطات الدفع أى للطلمبات العاملة على خطوط أنابيب نقل البترول من ناحية عدد الطلمبات ومواصفة كل طلمبة(Flow, Head,..etc) مما يحقق أقل قيمة للإستثمارات المدفوعة لمحطات الدفع ويحقق أقل قيمة لتكاليف تشغيل الطلمبات

٥- الإختيار المناسب لعدد محطات الدفع على طول الخط والإختيار المناسب لأماكن محطات الدفع على طول الخط

٦- الإختيار الأمثل لطريقة رفع كفاءة خط الأنابيب الموجود والتى تحقق زيادة الكمية المنقولة سنوياً بأقل إستثمارات مدفوعة وبأقل تكاليف تشغيل للطلمبات سواء بإنشاء محطات دفع إضافية أو بإنشاء خط أنابيب إضافى(Loop) بتطبيق معادلة المهندس/ حسن وجدى وإضافة طلمبات(لمحطات الدفع الموجودة)

حيث أن هذه الأهداف يمكن أن توفر الكثير من الإستثمارات المدفوعة مبكراً(أو بدون داعى) ، ومن تكاليف تشغيل الطلمبات وذلك فى حالة عدم الإختيار المناسب لقطر خط الأنابيب أو عدم الإختيار المناسب لمواصفات الطلمبات الموجودة بمحطات الدفع أو عدم الإختيار المناسب لطريقة رفع كفاءة خط الأنابيب الموجود

نبذة مختصرة عن صاحب هذه الدراسة:

* خريج كلية الهندسة جامعة الإسكندرية قسم ميكانيكا قوى دفعة ١٩٨٣ بتقدير عام جيد جداً

* خبرة ٣٢ عاماً فى مجال الطلمبات وخطوط الأنابيب

* بريد إلكترونى hassan_wagdi@yahoo.com

* محمول ٠١٢٨١٠٩١٠٥٩

الفهرس

الموضوع	الصفحة
الفهرس	٣
الباب الأول: المبادئ والنظريات الأساسية المستخدمة فى التصميمات الهيدروليكية للأنابيب	٦
الكثافة – الوزن النوعى– الكثافة النسبية – الضغط	٦
الضغوط العيارية والمطلقة – ضغط البخار	٨
أقصى ضغط سالب – اللزوجة	٩
معادلة الإستمرار	١٠
طاقة السائل داخل خط الأنابيب – طاقة حركة السائل – طاقة ضغط السائل – طاقة الوضع	١١
نظرية برنوللى	١٢
المقياس ذو الفتحة(Orifice Meter)	١٣
المقياس ذو الفوهة(Flow-Nozzle Meter)	١٥
مقياس فنشورى(Venturi Meter)	١٧
أطوال الأنابيب قبل أجهزة القياس وبعدها	١٨
أنبوبة Pitot	١٩
فاقد الطاقة فى خطوط الأنابيب – فاقد الإحتكاك(Friction Head Loss)	٢٠
الفواقد الثانوية(Minor Losses)	٢٢
تطبيق: السريان خلال سيفون	٢٥
الباب الثانى: تصميم خطوط أنابيب نقل البترول	٢٦
طرق نقل البترول – تصنيف أنظمة خطوط الأنابيب	٢٦
رأس المال اللازم لمشروع خط الأنابيب – تكاليف إنشاء خط الأنابيب – تكاليف إنشاء محطات الضخ – التكاليف السنوية لمشروع خط الأنابيب	٢٧
أسس إختيار قطر خط الأنابيب	٢٨
العوامل المؤثرة على التكاليف الكلية لنقل البترول بخط الأنابيب	٢٩
تصميم خط الأنابيب – خطوات التصميم	٣٠
مثال على تصميم خط أنابيب	٣١
إختيار القطر المناسب لخط الأنابيب من بين عدة أقطار – إختيار التعديل المناسب لرفع الكمية المنقولة بخط الأنابيب من بين عدة تعديلات	٣٤
أسس تحديد سمك خط الأنابيب	٣٨

الباب الثالث: تطبيقات على التصميمات الهيدروليكية لخطوط الأنابيب	٤٣
التطبيق الأول: حساب الضغط المطلوب عند محطة الضخ	٤٣
التطبيق الثانى: حساب الكمية المنقولة بخط الأنابيب	٤٥
التطبيق الثالث: رسم خط إنحدار الضغط(H.G) وبناء عليه تحديد الضغط عند أى نقطة على طول مسار خط الأنابيب	٤٦
التطبيق الرابع: حساب عدد محطات الضخ على طول مسار خط الأنابيب والضغط الذى تعطيه كل محطة ضخ	٤٩
التطبيق الخامس: حساب المسافات البينية لمحطات الضخ على طول مسار خط الأنابيب	٥١
التطبيق السادس: مقاومة خط الأنابيب لنقل مختلف أنواع البترول ومنتجاته	٥٣
الباب الرابع: تصميم الخطوط التى تحتوى على أكثر من خط بأقطار مختلفة	٥٩
تطبيقات على تصميم خطوط الأنابيب التى تحتوى على أكثر من خط بأقطار مختلفة	٦٣
التطبيق الأول: رسم خط إنحدار الضغط(H.G) وحساب الكمية(معدل السريان) لخط له أكثر من قطر واحد	٦٣
التطبيق الثانى: رسم خط إنحدار الضغط(H.G) وحساب الكمية(معدل السريان) لخط به جزء من الطول يحتوى على خطين متوازيين(Loop)	٦٥
التطبيق الثالث: رسم خط إنحدار الضغط H.G وحساب الكمية(معدل السريان) لنظام نقل يحتوى على خطين متوازيين مختلفى الأقطار	٦٧
التطبيق الرابع: رسم خط إنحدار الضغط(H.G) وحساب الكمية(معدل السريان) لخط له أكثر من قطر واحد مع وضع القطر الكبير بمنطقة الضغط العالى والقطر الأصغر بمنطقة الضغط المنخفض على العكس من التطبيق الأول	٦٨
طرق رفع كفاءة خطوط أنابيب نقل البترول	٧٠
رفع كفاءة خط الأنابيب بتركيب خط أنابيب إضافى(Loop) موازى لخط الأنابيب الموجود (معادلة المهندس/ حسن وجدى)	٧١
الباب الخامس: المبادئ والنظريات الأساسية المستخدمة فى إختيار الطلمبات	٧٤
مقاومة خط الأنابيب لسريان السوائل	٧٤
تصنيف الطلمبات	٧٦
منحنيات أداء الطلمبات الطاردة المركزية	٧٨
خصائص خط الأنابيب وضغط الطلمبة	٧٩
كفاءة الطلمبة(Pump Efficiency)	٨٠

السرعة النوعية للمروحة Impeller Specific Speed (n_s)	٨٢
تأثير السرعة النوعية للمروحة على منحنيات أداء الطلمبات الطاردة المركزية	٨٣
تأثير سرعة الدوران والقطر الخارجى للمروحة على منحنيات أداء الطلمبات الطاردة المركزية	٨٥
تأثير لزوجة وكثافة السائل على منحنيات أداء الطلمبات الطاردة المركزية	٨٧
ظاهرة التكهف Cavitation فى الطلمبات	٨٨
المقدار الصافى لضغط السحب الموجب للطلمبة Pump NPSH (Required NPSH) أو إنخفاض الضغط الديناميكى Dynamic Head Depression	٨٩
المواصفات الواجب توافرها بمجمعات وخطوط أنابيب سحب الطلمبات	٩٦
المواصفات الواجب توافرها بمجمعات وخطوط أنابيب طرد الطلمبات	١٠١
الباب السادس: إختيار الطلمبات وتطبيقاتها فى مجال نقل البترول	١٠٧
طرق إختيار الطلمبات	١٠٧
١- عند ثبات فرق المنسوب بين خزانى الطرد والسحب	١٠٨
٢- عند تغير فرق المنسوب بين خزانى الطرد والسحب	١٠٨
٣- عند تغير الكمية المنقولة	١٠٩
٤- عند تغير الضغط المطلوب	١١١
٥- نقل البترول ومنتجاته بخطوط الأنابيب الطويلة	١١٣
٦- نموذج لمجمع بلوف إستلام البترول على المستودعات ونماذج لمحطات التدفيع(الرفع) الرئيسية والبينية	١١٤
٧- حدوث تغير فى كثافة ولزوجة السائل أثناء نقل البترول ومنتجاته بخطوط الأنابيب الطويلة	١١٩
ملحق(١): الحسابات الهيدروليكية لتحديد المستوى المناسب لتركيب الطلمبات المناولة (Low-Head Pumps) بالنسبة لأقل منسوب للسائل بالخزان	١٢٣
ملحق(٢): الحسابات الهيدروليكية لنقل البترول ومنتجاته بخطوط الأنابيب الطويلة (Long Pipe-Lines)	١٢٨
ملحق(٣): دراسة جدوى المعاونة بمحطات التدفيع(الرفع) البينية	١٣٥
ملحق(٤): تطبيقات متنوعة	١٤١
ملحق(٥): ملخص المعادلات	١٥٢
ملحق(٦) ظاهرة الطرق المائى/ الـ Surge فى خطوط الأنابيب	١٦٥
ملحق(٧): تحويل الوحدات Units Conversion	١٧٩
المراجع	١٨٢

الباب الأول

المبادئ والنظريات الأساسية المستخدمة فى التصميمات الهيدروليكية للأنابيب

الكثافة(Density)

* هى كتلة وحدة الحجوم من المادة ويرمز لها بالرمز ρ
* وحدة الكثافة هى كتلة الجرام لكل سنتيمتر مكعب(جم/سم^{٣})
* تعتمد كثافة السائل على نوعه ودرجة الحرارة
* كثافة الماء تساوى ١جم/سم^{٣}(١طن/ م^{٣})عند ١٥,٥٦^{o}م(تقريباً ١٥,٦ درجة مئوية) أى عند ٦٠^{o} ف(درجة فهرنهيت)

الوزن النوعى(Specific Weight)

* هو وزن وحدة الحجوم من المادة ويرمز له بالرمز w
* وحدة الوزن النوعى هى قوة الجرام لكل سنتيمتر مكعب(جم/سم^{٣})
* (الوزن النوعى = الكثافة × عجلة الجاذبية الأرضية) أى أن ($w = \rho g$)

g عجلة الجاذبية الأرضية وتساوى ٩,٨٠٧ متر/ثانية^{٢}(تقريباً ٩,٨١ متر/ثانية^{٢})

الكثافة النسبية(Specific Gravity)

* هى النسبة بين كثافة المادة أو وزنها النوعى وكثافة الماء أو وزنه النوعى ويرمز لها بالرمز sp.gr
* الكثافة النسبية هى نسبة بدون وحدات
* الكثافة النسبية للماء تساوى ١ وللزئبق تساوى ١٣,٦ عند ٦٠/٦٠^{o} ف
* فى النظام المترى للوحدات(سنتيمتر. جرام . ثانية) تكون الكثافة النسبية تساوى الكثافة عددياً

الضغط(Pressure)

* هو القوة المؤثرة على وحدة المساحة
* تكون القوة متعامدة على المساحة
* وحدة الضغط هى كيلوجرام لكل سنتيمتر مربع(كجم/سم^{٢}) أو بار bar

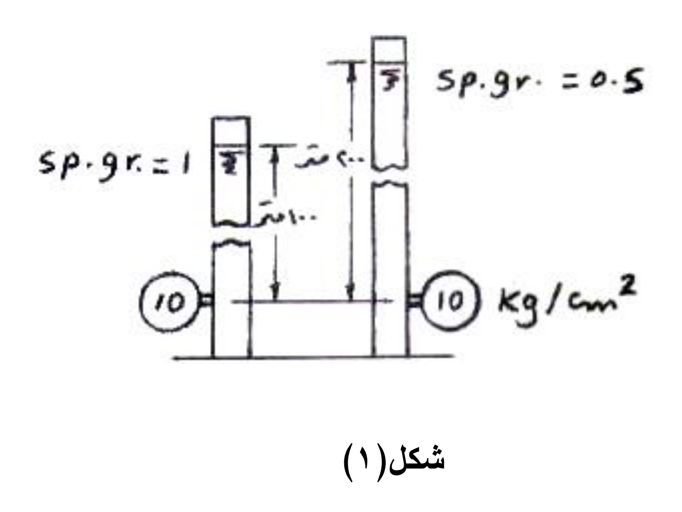
$$bar = 1.0197\ kg/cm^2$$

* يوضح شكل(١) أنه فى حالة وجود سائلين لهم كثافة ١ ، ٠,٥ فإن السائل ذو الكثافة الأقل لابد أن يصعد إلى إرتفاع عمود أعلى لكى يولد نفس الضغط عند نفس المستوى مثل السائل الأثقل

* الضغط عند أسفل العمود H لكل سائل يساوى وزن السائل فوق نقطة قياس الضغط مقسوماً على مساحة المقطع A عند نفس النقطة = $\frac{AHW}{A}$ = WH

* يمكن التعبير عن الضغط بدلالة إرتفاع عمود سائل معين وهو ما يسمى الـ Head أو طاقة الضغط Pressure Energy ووحدته هى كجم.متر/كجم أى المتر

* الـ Head بالمتر = الضغط بالكجم/سم^٢ × $\frac{10}{sp.gr}$



شكل(١)

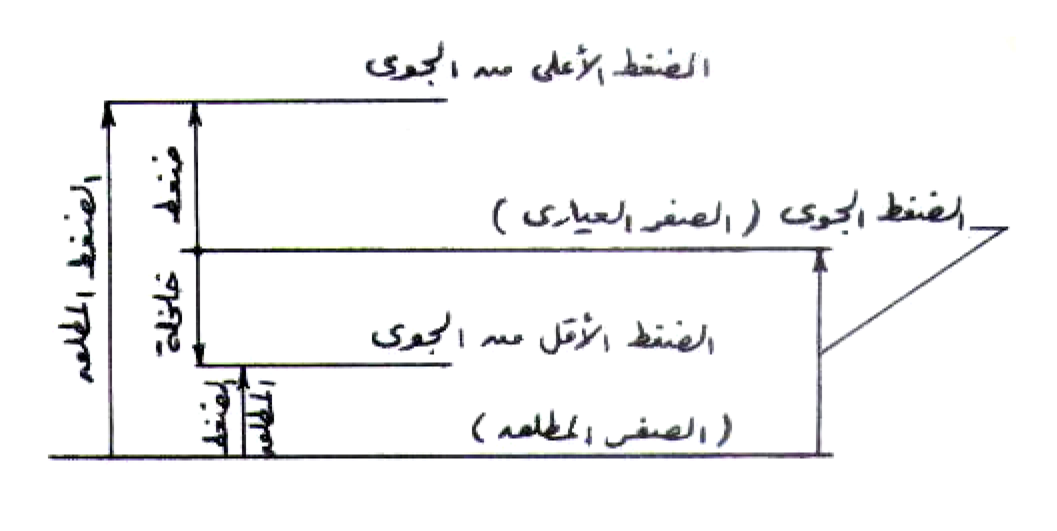
* الضغط الجوى يساوى ١,٠٣ كجم/سم^٢ عند مستوى سطح البحر

* الضغط الجوى يساوى الضغط الناتج من وزن عمود ماء إرتفاعه $\frac{1.03\times10}{1}$ أى ١٠,٣ متر

* الضغط الجوى يساوى الضغط الناتج من وزن عمود زئبق إرتفاعه $\frac{1.03\times10}{13.6}=0.76$ mt أى ٧٦ سنتيمتر

* الضغط الجوى يساوى الضغط الناتج من وزن عمود بنزين إرتفاعه $\frac{1.03\times10}{0.73}=14.11$ mt

الضغوط العيارية والمطلقة



شكل(٢)

* يوضح شكل(٢) أن الضغط العيارى(Gage Pressure) هو الضغط المنسوب إلى الضغط الجوى (Atmospheric Pressure) بإعتبار أن الضغط الجوى يساوى صفر

* يكون الضغط العيارى(Gage Pressure) إما أعلى من الضغط الجوى ويسمى ضغط(Pressure) أو أقل من الضغط الجوى ويسمى تفريغ أو خلخلة(Vacuum)

* يقاس الضغط العيارى(Gage Pressure) بواسطة أجهزة مثل المانومترات وأنبوبة بوردون

* الضغط المطلق(Absolute Pressure) هو الضغط المنسوب إلى الصفر المطلق

* الضغط المطلق = الضغط العيارى + الضغط الجوى

ضغط البخار(Vapor Pressure)

* هو الضغط الذى عنده يتحول السائل إلى بخار

* يعتمد ضغط البخار على نوع السائل ودرجة الحرارة

* يتم التعبير عن ضغط البخار بالقيم المطلقة للضغوط

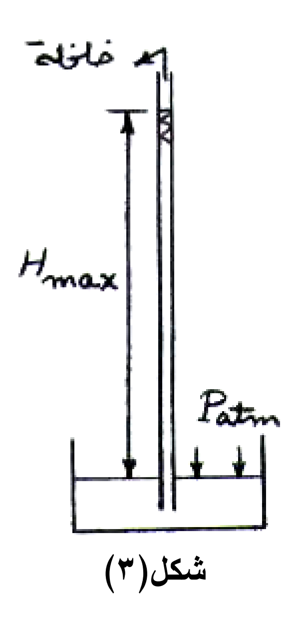
* ضغط البخار للماء عند درجة الحرارة العادية(٢٣,٦°م) يساوى ٠,٠٣ كجم/سم٢ مطلق

* إذا تم خلخلة الفراغ فوق سطح الماء حتى يصل الضغط إلى٠,٠٣ كجم/سم٢ مطلق(-١ كجم/سم٢ عيارى) فإن الماء يتبخر عند درجة الحرارة العادية(٢٣,٦°م)

أقصى ضغط سالب

* يوضح شكل(٣) أنه إذا تم عمل خلخلة فى الأنبوبة الرأسية فإن الماء يصعد فى الأنبوبة بتأثير الضغط الجوى حتى يصل إلى حد معين يكون الضغط عنده يساوى ضغط البخار

* يطلق على الإرتفاع من سطح السائل بالإناء حتى هذا الحد بأقصى ضغط سالب H_{max}(فى صورة Head) وهو يساوى ١٠ متر للماء عند درجة الحرارة العادية(٢٣,٦°م) أى $10\ mt = \frac{10 \times [1.03 - 0.03]}{1}$



شكل(٣)

اللزوجة(Viscosity)

* يطلق إسم الموائع على السوائل والغازات

* تسمى خاصية السائل التى تولد مقاومة لقوى القص فى السريان اللزوجة

* إذا تم ملء الفراغ بين سطحين مستويين بسائل فإنه يلزم قوة لكى يتحرك إحدى السطحين بسرعة ثابتة بالنسبة للآخر وتتغير سرعة السائل خطياً بين السطحين

* النسبة بين القوة لكل وحدة مساحة(إجهاد القص) إلى السرعة لكل وحدة مسافة بين السطحين(معدل القص) تكون مقياس لزوجة السائل الديناميكية أو المطلقة

* السوائل التى تتناسب فيها إجهادات القص مع معدلات القص تكون لها معاملات لزوجة ثابتة عند ضغط ودرجة حرارة محددين ويطلق عليها إسم السوائل الحقيقية Newtonian Liquids وفيها تزيد اللزوجة ومقاومة السريان مع إنخفاض درجة الحرارة

* وحدة اللزوجة الديناميكية أو المطلقة هى داين.ثانية/سم^2 وتسمى بويز(Poise) وتساوى عددياً جم/سم.ثانية

* القياس الشائع للزوجة الديناميكية أو المطلقة هى سنتى بويز(١/١٠٠بويز)

$$Centipoise \times 10^{-3} = N.sec/mt^2 = Pa.sec$$

$$N\ (Newton)\ ،\ \ Pa\ (Pascal) = N/mt^2$$

* أحياناً يعبر عن لزوجة السائل باللزوجة الكينماتيكية وهى تساوى اللزوجة الديناميكية مقسومة على الكثافة (w/g) ووحدتها المترية هى سم^{٢}/ثانية وتسمى ستوك(Stoke)

* القياس الشائع للزوجة الكينماتيكية هى سنتى ستوك(c^{st})Centistoke(١/١٠٠ ستوك)

$$Centistoke\ =\ mm^2/sec$$

$$Centistoke \times 10^{-6}\ =\ mt^2/sec$$

* تعتمد اللزوجة على نوع السائل ودرجة الحرارة

* لزوجة الماء تساوى ٠,٠١١٣ بويز عند ١٥,٦°م

* فى النظام المترى للوحدات(سم.جم.ثانية) تكون اللزوجة الكينماتيكية بالسنتى ستوك = اللزوجة الديناميكية أو المطلقة بالسنتى بويز/Sp.gr

* للتحويل من الوحدات المترية إلى الوحدات الإنجليزية(قدم.رطل.ثانية)

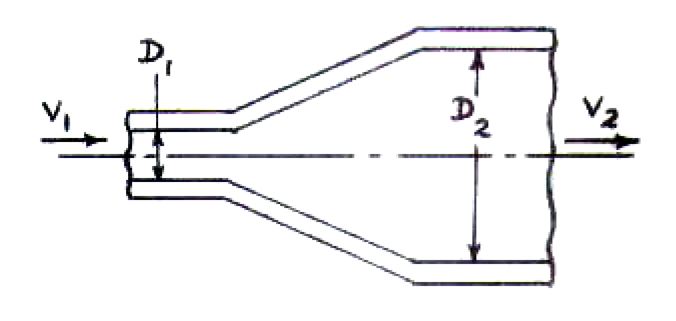
رطل.ثانية/قدم^{٢} = ٠,٠٠٠٠٢٠٨٨٥٥ سنتى بويز

قدم^{٢}/ثانية = ٠,١٠٧٦٣٩ سنتى ستوك

* المائع المثالى هو المائع الذى نعتبره خالٍ من اللزوجة

* تسهيلاً لدراسة المعادلات نعتبر المائع مثالياً بإهمال تأثير اللزوجة ثم إدخال معاملات التصحيح التى يتم الحصول عليها من التجارب المعملية

معادلة الإستمرار(Continuity Equation)



شكل(٤)

* تربط هذه المعادلة بين السرعة المتوسطة V العمودية عبر مقطع فى أنبوبة وبين المساحة A لهذا المقطع

* يوضح شكل(٤) أنه عند المقطع(١) إذا كانت المساحة A_1 والسرعة V_1 وكثافة المائع ρ_1 تكون كتلة المائع المار فى الثانية الواحدة خلال هذا المقطع هى $\rho_1 A_1 V_1$

* إذا تغير المقطع إلى(٢) وكانت مساحته A_2 فلابد أن يحدث تغير فى قيم ρ_2 ,V_2 لتظل الكتلة ثابتة

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

* فى حالة الموائع الغير قابلة للإنضغاط مثل السوائل لم تتغير الكثافة أى تظل ثابتة ويكون

$$A_1V_1 = A_2V_2 = \text{مقدار ثابت}$$

ويطلق على المقدار الثابت إسم معدل السريان أو الكمية(Flow Rate) ويرمز له بالرمز Q ويعرف بأنه حجم السائل المار فى وحدة الزمن ووحدته هى المتر المكعب فى الساعة(متر^3/ساعة)

طاقة السائل داخل خط الأنابيب

* يعبر عن طاقة السائل داخل خط الأنابيب فى صورة طاقة لوحدة الأوزان ووحدتها هى كجم.متر/كجم أو المتر عيارى أو مطلق

* تكون طاقة الموائع الغير قابلة للإنضغاط مثل السوائل فى ثلاث صور هى سرعة ، ضغط وإرتفاع:

١ – طاقة حركة السائل(Velocity Head)

* وتكون نتيجة حركة السائل داخل خط الأنابيب بسرعة معينة ويعبر عنها فى صورة سرعة($\frac{V^2}{2g}$) ووحدتها هى كجم.متر/كجم أى المتر

* حيث أن سرعة السوائل فى الأنابيب والقنوات المفتوحة تتغير عبر أى مقطع واحد من المجرى لذلك نستخدم السرعة المتوسطة V المحسوبة بقسمة معدل السريان على مساحة مقطع المجرى

٢ – طاقة ضغط السائل(Pressure Head)

* وتكون نتيجة ضغط السائل داخل خط الأنابيب ويعبر عنها فى صورة Head وتساوى($\frac{10P}{sp.gr}$) ووحدتها المتر

P : الضغط بالكجم/سم^2

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل(بدون وحدات)

٣ – طاقة الوضع(Elevation Head)

* وتكون نتيجة وجود السائل عند إرتفاع Z عن مستوى قياسى معين Datum Plane وعادة يكون مستوى سطح البحر ووحدتها المتر

نظرية برنوللى(Bernoulli's Equation)

* نظرية برنوللى للموائع الغير قابلة للإنضغاط مثل السوائل تنص على أنه فى السريان المستقر Steady Flow للسائل بدون فواقد(مائع مثالى) تكون طاقة السائل عند أى نقطة تساوى مجموع طاقة الحركة وطاقة الضغط وطاقة الوضع ويكون هذا المجموع ثابت على طول خط السريان فى المجرى وهذه الطاقة تساوى

$$H = \frac{10P}{sp.gr} + \frac{V^2}{2g} + z$$

* عند السريان المستقر Steady Flow للسائل يمكن لطاقة السائل أن تتغير من صورة لأخرى أى أنه:

أ- عند ثبات طاقة الوضع إذا زادت سرعة السائل(طاقة حركة السائل) إنخفض ضغط السائل(طاقة الضغط للسائل) وينطبق ذلك عند تقليل مقطع الأنبوبة مثل السريان خلال المقياس ذو الفتحة Orifice Meter كما بالشكل(٥)

ب- عند ثبات طاقة الوضع إذا إنخفضت سرعة السائل(طاقة حركة السائل) زاد ضغط السائل(طاقة الضغط للسائل) وينطبق ذلك عند زيادة مقطع الأنبوبة مثل السريان خلال المقياس ذو الفتحة Orifice Meter كما بالشكل(٥)

ج_ عند ثبات طاقة الحركة إذا زادت طاقة الوضع إنخفضت طاقة الضغط والعكس وينطبق ذلك بخطوط الأنابيب المارة بالبلدان الجبلية حيث يكون أقل ضغط للسائل بالخط عند أعلى نقطة بالخط وهى قمة الجبل Peak)

* ينتقل السائل من نقطة إلى أخرى نتيجة فرق الطاقة الكلية للسائل بين النقطتين

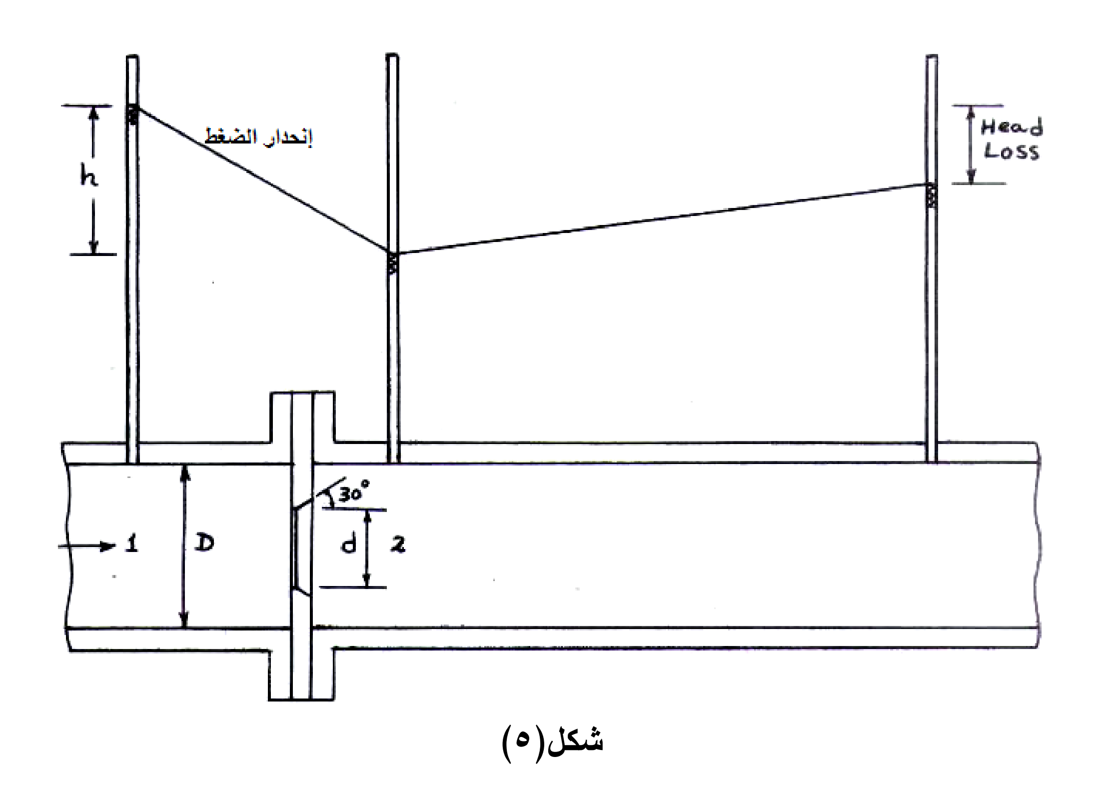
* فى حالة تساوى كلاً من طاقة الحركة وطاقة الوضع عند النقطتين ينتقل السائل من نقطة إلى أخرى نتيجة فرق الضغط بين النقطتين

* يمكن الرجوع إلى طاقة السائل داخل خط الأنابيب وأنبوبة Pitot (الباب الأول) ، مقاومة خط الأنابيب لسريان السوائل وتصنيف الطلمبات والمواصفات الواجب توافرها بمجمعات وخطوط أنابيب طرد الطلمبات (الباب الخامس) للتوضيح

* سوف نوضح تطبيقات نظرية برنوللى على بعض حالات السريان فى أجهزة قياس الكمية(معدل السريان)

المقياس ذو الفتحة(Orifice Meter)

* يتكون المقياس ذو الفتحة Orifice Meter من أنبوبة قطرها الداخلى D يكون أكبر من ٥ سم ومركب بها قرص به فتحة قطرها d أصغر من قطر الأنبوبة ولا يقل عن ٦ مم كما بالشكل(٥) بحيث تكون نسبة الأقطار $\left(\frac{d}{D}\right)$ فى حدود(٠,٢ : ٠,٨)



شكل(٥)

* بتطبيق معادلة برنوللى على النقطتين(١)،(٢) وإعتبار المائع مثالياً

الطاقة الكلية عند نقطة(١) = الطاقة الكلية عند نقطة(٢) = ثابت

$$\frac{10P_2}{sp.gr}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2=\frac{10P_1}{sp.gr}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1$$

* مع أخذ المستوى القياسى هو محور الأنبوبة وإهمال السرعة V_1 بإعتبارها أقل بكثير من V_2

$$\frac{V_2^2}{2g}=\frac{10\left(p_1-p_2\right)}{sp.gr}=H_1-H_2=h$$

$$V_2=\sqrt{2gh}$$

* إذا تكلمنا عن تأثير اللزوجة يتبين أنه عند سريان المائع خلال المقياس يضيع جزء من الطاقة عن طريق الإحتكاك الناشئ من لزوجة السائل

* إذا تم قياس السرعة V_2 لوجدنا أنها أقل من $\sqrt{2gh}$ لأن الطاقة الكلية عند نقطة(٢) تكون أقل من الطاقة الكلية عند نقطة(١) نتيجة فقد جزء منها بإحتكاك المائع مع جدران المقياس عند خروجه من الفتحة Orifice

* أى أن السرعة V_2 تساوى $K_V\sqrt{2gh}$ حيث K_v يسمى معامل السرعة وهو أقل من ١
* السرعة تكون عمودية على المساحة عند الإنكماش أى عند النقطة(٢) وليس عند الفتحة ذاتها
* تكون مساحة مقطع الإنكماش A_2 أقل من مساحة مقطع الفتحة نفسها $\frac{\pi}{4}d^2$ أى تساوى

$$A_2 = K_C\,\frac{\pi}{4}d^2$$

حيث أن K_c يسمى معامل إنكماش مقطع السريان وهو أقل من ١
* يمكن حساب الكمية(معدل السريان) Q المارة خلال الفتحة(من معادلة الإستمرار) وهى تساوى

$$Q = A_2V_2$$

$$Q = K_C\,\frac{\pi}{4}d^2 K_V\sqrt{2gh}$$

$$Q = K_d\,\frac{\pi}{4}d^2\sqrt{2gh}$$

حيث أن K_d هو معامل التصريف للمقياس ذو الفتحة Orifice Meter ويساوى $K_c\ K_v$ ويكون أقل من ١ ويمكن حساب قيمة هذا المعامل من التجارب المعملية وهو يساوى حوالى ٠,٦١ تقريباً
* يتم قياس الكمية بمعرفة فرق الضغط بين قبل وبعد الفتحة Orifice
* يتراوح ضغط النفث Jet الخارج من الفتحة بين أقل قيمة له عند الإنكماش وأقصى قيمة له بعد حوالى ٤ أو ٥ أمثال القطر D بعد الفتحة فى إتجاه السريان
* العيب الأساسى للمقياس ذو الفتحة بالمقارنة بالمقياس ذو الفوهة أو مقياس فنشورى هو أن فاقد الضغط كبير نسبياً ومن ناحية أخرى فإنه غير مرتفع الثمن وبإمكانه قياس الكمية بدقة

* على سبيل المثال لحساب فرق الضغط المقاس عبر الفتحة Orifice لخط أنابيب قطره ١٢ بوصة والكمية المارة حوالى ٤٠٠ متر٣/ساعة

بإفتراض أن قطر الفتحة يساوى ٠,٦٧ قطر الخط أى يساوى ٨ بوصة وإعتبار أن $K_d = 0.61$ يكون

$$Q = K_d\,\frac{\pi}{4}d^2\sqrt{2gh}$$

$$\frac{400}{3600} = 0.61\frac{\pi}{4}\left(\frac{8\times 2.54}{100}\right)^2\sqrt{2\times 9.8h}$$

$$h = 1.61\ \text{mt}$$

بإفتراض أن السائل المنقول زيت كثافته ٠,٨٨ جم/ سم٣

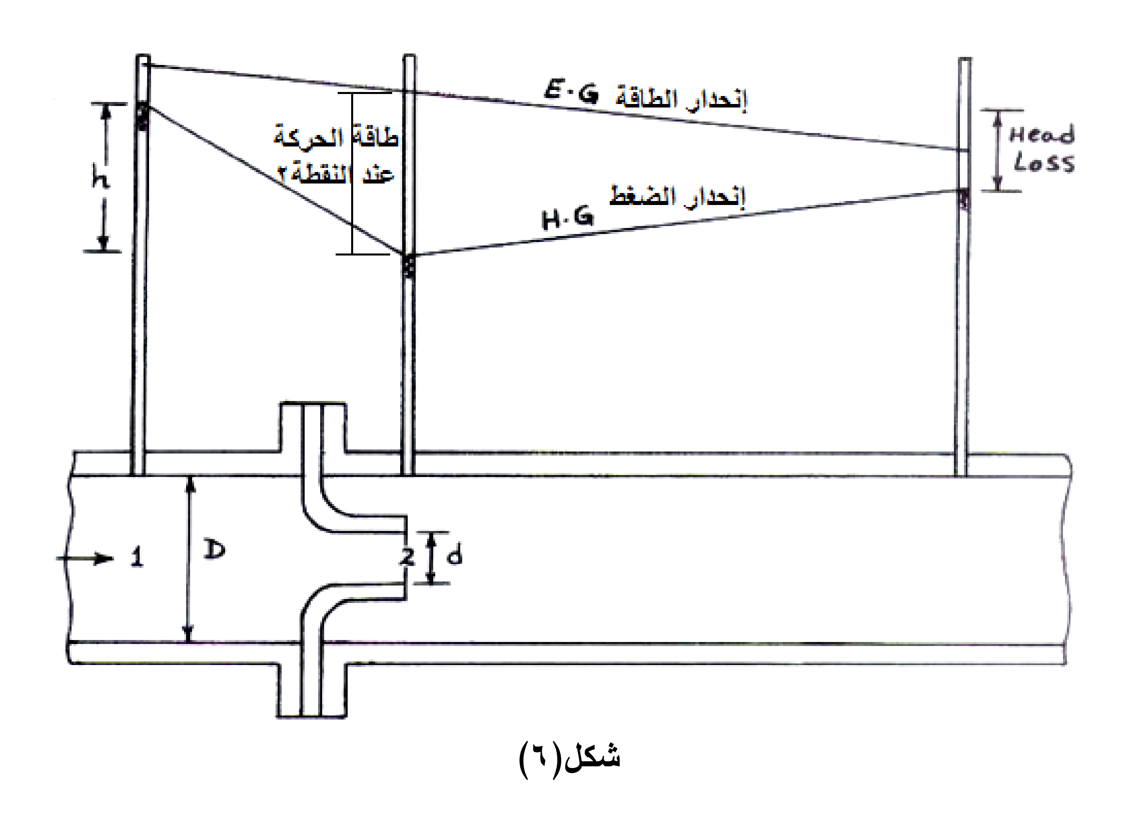
يكون فرق الضغط المقاس عبر الفتحة يساوى

$$\Delta P = 1.61\times\frac{0.88}{10} = 0.14\,kg/cm^2$$

ويكون الفاقد الكلى للضغط عبر الفتحة Total Head Loss أقل من فرق الضغط المقاس عبر الفتحة أى أقل من ٠,١٤ كجم/سم٢

* يراعى عند إختيار مقياس الفتحة أن يكون الفاقد الكلى للضغط عبر المقياسTotal Head Loss أقل ما يمكن ويفضل ألا تصل قيمة هذا الفاقد إلى ٠,٢٥ كجم/سم٢ لأن هذا معناه حدوث فقد كبير نسبياً فى طاقة السائل(أى حدوث فقد كبير نسبياً فى قدرة الطلمبات) مقابل قياس الكمية المارة وخصوصاً عند معدلات السريان الكبيرة (يمكن الرجوع إلى كفاءة الطلمبة بالباب الخامس للتوضيح)

المقياس ذو الفوهة(Flow-Nozzle Meter)



شكل(٦)

* يتكون المقياس ذو الفوهة من أنبوبة قطرها الداخلى D يكون أكبر من ٥ سم ومركب داخلها أنبوبة قصيرة متغيرة المقطع بإنتظام وقطرها الداخلى d كما بالشكل(٦) بحيث تكون نسبة الأقطار ($\frac{d}{D}$) فى حدود(٠,٤٥ : ٠,٧٤)

* بتطبيق معادلة برنوللى على النقطتين(١)،(٢) مع وضع تأثير اللزوجة فى الإعتبار

$$\frac{10P_1}{sp.gr}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{10P_2}{sp.gr}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2+h_f$$

حيث أن h_f هو الفاقد بالإحتكاك بين النقطتين(١)،(٢)

* مع إعتبار المستوى القياسى هو محور الأنبوبة يكون

$$\frac{10P_1}{sp.gr}+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{10P_2}{sp.gr}+\frac{V_2^2}{2g}+h_f$$

* بإستخدام معادلة الإستمرار $A_1V_1 = A_2V_2$ وإدخال معامل السرعة K_V ليحل محل الفاقد بالاحتكاك h_f أو كما تم للمقياس ذو الفتحة يكون

$$V_2 = K_v \sqrt{\frac{2gh}{\left[1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]}}$$

* يمكن حساب الكمية(معدل السريان) Q المارة خلال الفوهة(من معادلة الإستمرار) وهى تساوى

$$Q = A_2V_2 = \frac{\pi}{4} d^2 V_2$$

$$Q = K_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2gh}{\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}}$$

حيث أن $K_d = K_V$ هو معامل التصريف للمقياس ذو الفوهة Flow-Nozzle Meter

ويمكن حساب قيمة هذا المعامل من التجارب المعملية وهو يساوى حوالى ١,٠٥ : ١,٠٦ تقريباً

* يتم قياس الكمية بمعرفة فرق الضغط بين قبل مدخل الفوهة وعند مخرجها

* الرسم بالشكل(٦) يوضح تغير الطاقة الكلية مع الطول لمعدل سريان محدد خلال الفوهة بإعتبار أن المستوى القياسى المناسب هو محور الفوهة ونحدد الأطوال عليه أما المحور الرأسى فيمثل صور الطاقة المختلفة

* عند النقطة(١) نبدأ بتوقيع مسافة رأسية تمثل طاقة الضغط $\frac{10P_1}{sp.gr}$ ونضيف إليها مسافة أخرى تمثل طاقة الحركة $\frac{V_1^2}{2g}$ نحصل على نقطة تمثل الطاقة الكلية عند نقطة(١)

* نكرر ما سبق عند النقطة(٢) نحصل على نقطة أخرى تمثل الطاقة الكلية عند نقطة(٢) وأيضاً نكرر ما سبق عند أوضاع مختلفة على طول المقياس وذلك بمقياس رسم محدد

* بتوصيل هذه النقط نحصل على خط يمثل تغير الطاقة الكلية خلال الفوهة ويطلق عليه إنحدار الطاقة E.G)Energy Gradient) وتكون الطاقة الكلية عند مخرج الفوهة أقل من عند مدخلها بمقدار h_f

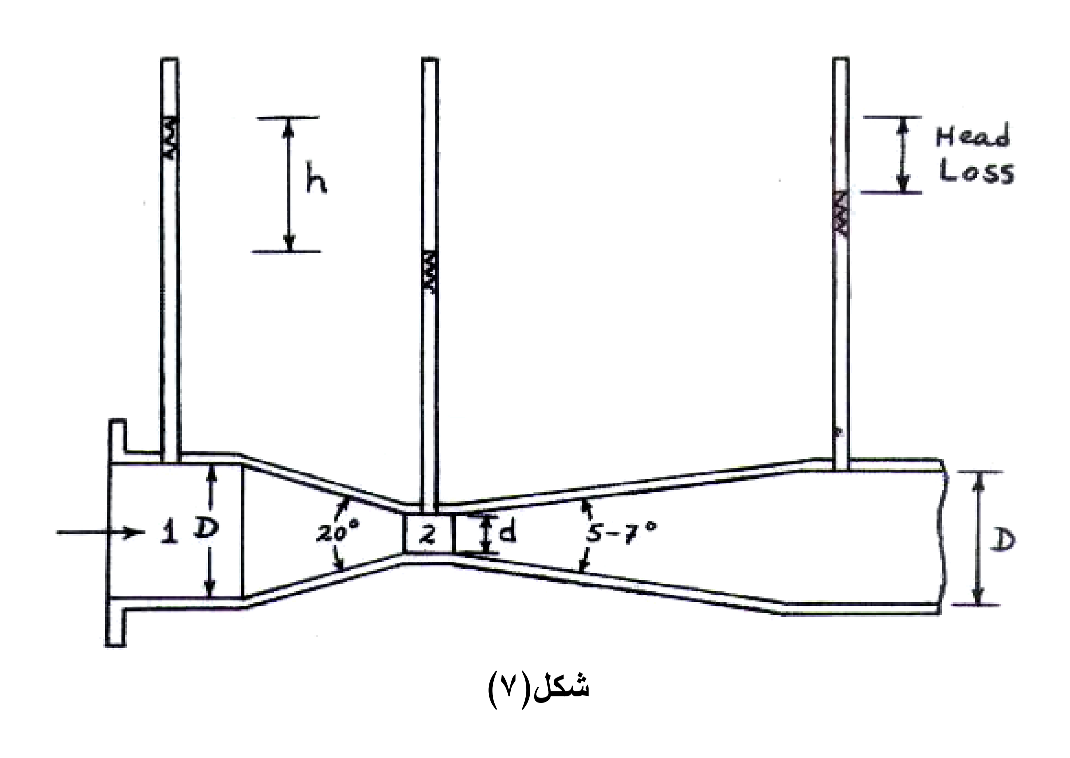
* إذا تم توصيل نقط توقيع طاقة الضغط نحصل على خط يمثل تغير الضغط خلال الفوهة ويطلق عليه إنحدار الضغط H.G)Hydraulic Gradient) ويتضح أن إنحدار الضغط ينخفض عن إنحدار الطاقة بمقدار طاقة الحركة $\frac{V^2}{2g}$ عند هذه النقطة

* فاقد الطاقة عبر المقياس يساوى فاقد الضغط عبر المقياس وذلك لتساوى السرعة وطاقة الوضع عند مدخل ومخرج المقياس

* يسبب المقياس ذو الفوهة فاقد ضغط أكبر من مقياس فنشورى وأقل من المقياس ذو الفتحة

مقياس فنشورى(Venturi Meter)

* يتكون مقياس فنشورى من أنبوبة قطرها الداخلى D يكون أكبر من ٥ سم ويظل يصغر تدريجياً حتى القطر d ثم يكبر القطر تدريجياً ليصل إلى قيمته الأصلية كما بالشكل(٧) بحيث تكون نسبة الأقطار ($\frac{d}{D}$) فى حدود(٠,٢٢ : ٠,٧٤)



شكل(٧)

* بتطبيق معادلة برنوللى على النقطتين(١)،(٢) مع وضع تأثير اللزوجة فى الإعتبار وإستخدام معادلة الإستمرار وإدخال معامل التصريف K_d ليحل محل الفاقد بالإحتكاك h_f كما تم للمقياس ذو الفوهة يمكن حساب الكمية Q المارة خلال الفنشورى(وهى نفس معادلة حساب الكمية للمقياس ذو الفوهة Nozzle)

$$Q = K_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2gh}{\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}}$$

* يتم قياس الكمية بمعرفة فرق الضغط بين قبل بداية تصغير القطر وعند أقل قطر
* يمكن رسم إنحدار الطاقة وإنحدار الضغط ويتضح منه أن فاقد الطاقة h_f تقابل إستخدام المعامل k_d
* معامل التصريف لمقياس فنشورى Venturi Meter يساوى حوالى ٠,٩٨ : ٠,٩٩ تقريباً
* يسبب مقياس فنشورى فاقد ضغط صغير جداً
* الجدول رقم(١) يوضح مقارنة لقيمة الفاقد الكلى للضغط عبر المقياس وذلك للأنواع الثلاثة السابقة لأجهزة قياس الكمية وذلك بإفتراض أن فرق الضغط المقاس مقدار ثابت يساوى٣٠ سم زئبق أى يساوى ٠,٤ كجم/سم^2

نوع المقياس	نسبة الأقطار $(\frac{d}{D})$	فرق الضغط المقاس عند المآخذ الملائمة (kg/cm^2)	الفاقد الكلى للضغط عبر المقياس كنسبة مئوية من فرق الضغط المقاس	الفاقد الكلى للضغط عبر المقياس (kg/cm^2)
ذو الفتحة Orifice	٠,٦٧	٠,٤	%٥٤	٠,٢١٦
ذو الفوهة Flow-Nozzle	٠,٦٥	٠,٤	%٤٥	٠,١٨
فنشورى Venturi	٠,٦٧	٠,٤	%١٠	٠,٠٤

جدول(١)

أطوال الأنابيب قبل أجهزة القياس وبعدها

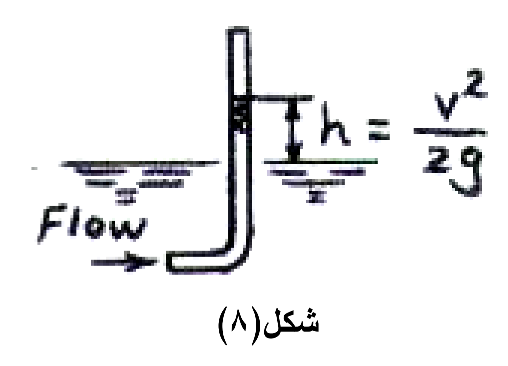
* عند إستخدام أجهزة لقياس الكمية المارة فى الأنابيب يجب أن يسبق الجهاز طول مستقيم من الأنبوبة Straight Run لضمان إنتظام السريان قبل الجهاز وخاصة إذا إحتوت الأنبوبة على تركيبات مثل الأكواع ، التيهات والمحابس(البلوف)

* يجب أن يلى الجهاز طول مستقيم من الأنبوبة وذلك حتى لا تؤثر الضغوط الخلفية Back Pressure على دقة الجهاز

* إذا كانت النسبة التقريبية للأقطار $(\frac{d}{D})$ تتراوح بين(٠,٦٥ : ٠,٦٧) يكون الطول المستقيم التقريبى قبل المقياس ذو الفتحة Orifice يساوى ٢٠ مثل قطر الأنبوبة(20(D ويكون الطول المستقيم التقريبى قبل المقياس ذو الفوهة Flow-Nozzle وقبل مقياس فنشورى Venturi يساوى٣٠ مثل قطر الأنبوبة(30(D وذلك فى أسوأ حالة Worst Case من أنواع التركيبات

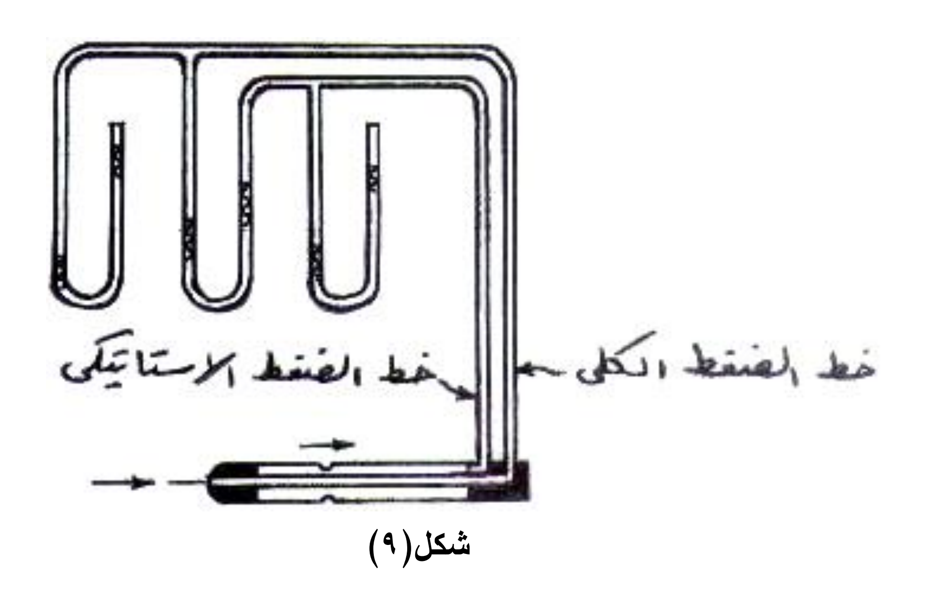
* فى أغلب الأحيان يكون الطول المستقيم التقريبى بعد الجهاز يساوى تقريباً خمسة أمثال قطر الأنبوبة(5(D وذلك لكل أجهزة القياس السابقة

أنبوبة Pitot



شكل(٨)

* تتكون أنبوبة Pitot من أنبوبة على هيئة زاوية قائمة وعندما يغمر الجزء المثنى جزئياً تحت الماء ويوجه مباشرة لإتجاه السريان Flow فإنه يبين سرعة السريان بالمسافة التى يرتفعها الماء فى الجزء الرأسى من الأنبوبة عن سطح الماء حيث أن هذه المسافة تساوى طاقة الحركة $\frac{V^2}{2g}$ كما بالشكل(٨)

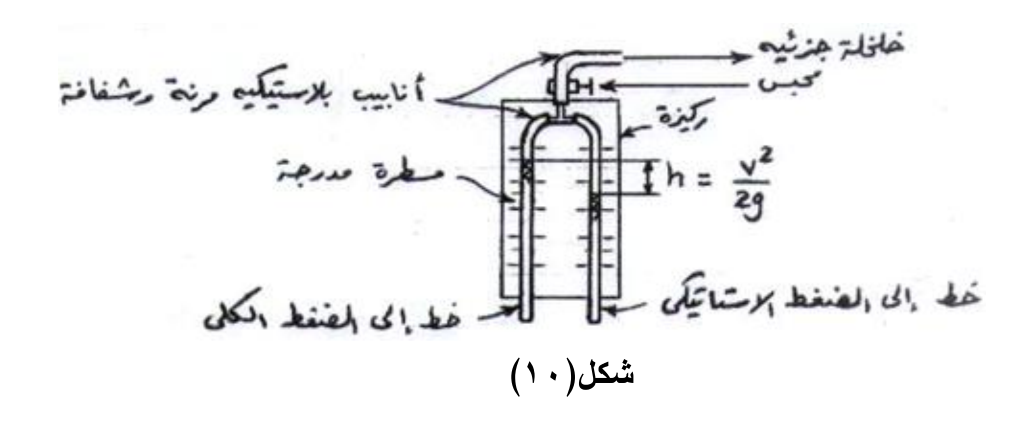


شكل(٩)

* الشكل المتكامل لهذه الأنبوبة يعرف بإسم Pitot-Static كما بالشكل(٩) وهى تتكون من جزئين أساسيين منفصلين ومتوازيين أحدهم يبين مجموع الطاقة الكلية(الضغط الكلى Stagnation Pressure) والآخر يبين طاقة الضغط(الضغط الإستاتيكى Static Pressure) فقط ويتم الحصول على طاقة الحركة(الضغط الديناميكى Dynamic Pressure) $\frac{V^2}{2g}$ بطرح الضغط الإستاتيكى من الضغط الكلى

* أنبوبة Pitot-Static تقيس الفرق بين(الضغط الكلى Stagnation Pressure) و(الضغط الإستاتيكى Static Pressure) عند نقطة وحيدة وتستخدم المانومترات بصورة شائعة لقياس هذه الضغوط

* يوضح شكل(١٠) إستخدام أنبوبة Pitot-Static لقياس الكمية(معدل السريان) فى القنوات المفتوحة للسريان المنخفض السرعة حيث أنه يصعب قياس إرتفاع الماء فى المانومتر فوق سطح الماء المتدفق لذلك يتم توصيل طرفى المانومتر ببعض من أعلى بواسطة وصلة على شكل حرف T ويوصل الطرف الثالث لها بخط يمكن توليد خلخلة جزئية به وبعد أخذ الهواء من أنبوبة Pitot يرتفع الماء لأعلى إلى المانومتر حتى الإرتفاع المقترح لتسهيل القراءة ثم يغلق خط الخلخلة وتؤثر الخلخلة الجزئية بالتساوى على طرفى المانومتر وفى هذه الحالة لم يتغير (فرق الـ Head)



شكل(١٠)

فاقد الطاقة فى خطوط الأنابيب

ينقسم فاقد الطاقة فى الأنابيب إلى نوعان هما:

أ- فاقد الإحتكاك ويكون نتيجة:

* إجهادات القص اللزج داخل السائل
* الإضطراب عند جدار الأنبوبة

ب- الفواقد الثانوية وتكون نتيجة:

* تغير فى سرعة السريان
* تغير فى إتجاه السريان

أ- فاقد الإحتكاك(Friction Head Loss)

* يعتمد فاقد الإحتكاك فى الأنبوبة على نوع السائل المار وسرعة السريان وأبعاد الأنبوبة والمادة المصنوع منها الأنبوبة وهو يساوى

$$h_f = f\,\frac{l}{d}\left(\frac{V^2}{2g}\right) = \frac{0.81057\,f\,lQ^2}{gd^5}$$

l : طول الأنبوبة

d : القطر الداخلى للأنبوبة

$\frac{V^2}{2g}$: طاقة الحركة

Q : معدل السريان أو الكمية

f : معامل الإحتكاك وتعتمد قيمته على نوع السريان فى الأنبوبة

* يوجد نوعان من السريان فى الأنابيب هما السريان الرقائقى(Laminar Flow) والسريان المضطرب (Turbulent Flow)

* لكى يتم نقل السوائل بخطوط الأنابيب بصورة إقتصادية بمعنى تحقيق أقل تكلفة نقل كلية للمشروع فإن ذلك يستوجب أن تكون الكميات المنقولة بالخط كبيرة وبالتالى يكون السريان مضطرب Turbulent Flow

* يتحدد نوع السريان عن طريق رقم بدون وحدات يسمى رقم رينولد Reynold's Number ويرمز له بالرمز R_N وهو يساوى

$$R_N = \frac{sp.gr \times V\,(cm/\sec) \times d\,(cm)}{\mu\,(poise)}$$

$$R_N = \frac{25400 \times V\,(mt/\sec) \times d\,(inch)}{\gamma(Centistoke)}$$

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل وهى رقم بدون وحدات وتساوى عددياً كثافة السائل بالجرام/سم٣

V : سرعة سريان السائل داخل الأنبوبة

d : القطر الداخلى للأنبوبة

μ أو γ : لزوجة السائل الديناميكية (المطلقة) أو الكينماتيكية

* إذا كان رقم رينولد أقل من ٢٠٠٠ كان السريان رقائقى Laminar Flow(سرعة سريان منخفضة نسبياً) وتكون اللزوجة هى السبب الأكبر لمقاومة السريان وفقد الضغط وفى هذه الحالة يكون

$$V(mt/\sec) < 0.0787\,\frac{\gamma(Centistoke)}{d\,(inch)}$$

$$Q\left(mt^3/hr\right) < 0.1436\,\gamma(Centistoke) \cdot d\,(inch)$$

ويفضل فى هذه الحالة إستخدام المعادلة العامة الآتية لحساب فاقد الإحتكاك فى خطوط الأنابيب

$$h_f = 2.7717\,\frac{\gamma l Q}{{d_i}^4}$$

h_f : فاقد الإحتكاك فى الأنبوبة بالمتر

γ : لزوجة السائل بالسنتى ستوكس

l : طول الأنبوبة بالكيلومتر

Q : معدل السريان أو الكمية بالمتر٣/ساعة

d_i : القطر الداخلى للأنبوبة بالبوصة

* إذا كان رقم رينولد أكبر من ٤٠٠٠ كان السريان مضطرب Turbulent FLow(سرعة سريان عالية نسبياً وأكثر إنتظاماً) ويكون السبب الأكبر لمقاومة السريان هو نتيجة خشونة جدار الأنبوبة والإضطراب وفى هذه الحالة يكون

$$V(mt/\sec) > 0.15748\frac{\gamma(Centistoke)}{d(inch)}$$

$$Q(mt^3/hr) > 0.287\,\gamma(Centistoke).d(inch)$$

ويفضل فى هذه الحالة إستخدام المعادلة العامة الآتية لحساب فاقد الإحتكاك فى خطوط الأنابيب

$$h_f = 17.5425\frac{\gamma^{0.25} l\, Q^{1.75}}{d_i^{4.75}}$$

$$h_f = 50.22095\frac{\gamma^{0.25} l\, V^{1.75}}{d_i^{1.25}}$$

h_f : فاقد الإحتكاك فى خط الأنابيب بالمتر

γ : لزوجة السائل المنقول بخط الأنابيب بالسنتى ستوكس

l : طول خط الأنابيب بالكيلومتر

Q : الكمية المنقولة بخط الأنابيب بالمتر٣/ساعة

V : سرعة سريان السائل داخل الأنبوبة بالمتر/ثانية

d_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

ب – الفواقد الثانوية(Minor Losses)

ويتم حسابها بإستخدام المعادلة

$$h_s = K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$h_s = \frac{0.01532\ KQ^2}{d_i^4}$$

$\left(\frac{V^2}{2g}\right)$: طاقة الحركة

K : معامل يعتمد على مصدر الفاقد الثانوى كما يتضح من جدول(٢)

Q : الكمية المنقولة بخط الأنابيب بالمتر٣/ساعة

d_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

* فى الحالات ١ ، ٣ ، ٥ ، ٧ بالجدول(٢) يتم إستخدام السرعة الأكبر لحساب الفاقد

* المحبس(البلف) الكروى Ball Valve له أقل مقاومة للسريان

* المحابس(البلوف) من نوع Gate , Butterfly & Plug لها مقاومة منخفضة للسريان

* المحابس(البلوف) من نوع Angle & Globe لها مقاومة مرتفعة للسريان

* المشتركات والجلب Unions & Couplings لها مقاومة غير محسوسة للسريان

* من الأنسب إستعمال قيم K عند حساب الفاقد خلال الوصلات

* توجد طريقة أخرى لحساب الفواقد الثانوية هى طريقة الأطوال المكافئة(Equivalent Length) بمعنى أن أى مصدر من مصادر الفواقد الثانوية يعطى فى صورة طول مستقيم من الأنبوبة بشرط أن يكون فاقد الإحتكاك فى هذا الطول يساوى الفاقد الثانوى وهو يساوى

$$h_s = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} l_{eq} Q^{1.75}}{d_i^{4.75}}$$

* يطلق على مجموع كلاً من فاقد الإحتكاك والفواقد الثانوية الفاقد الكلى فى الأنبوبة وهو يساوى

$$h_t = h_f + h_s = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} \left(l + l_{eq}\right) Q^{1.75}}{d_i^{4.75}}$$

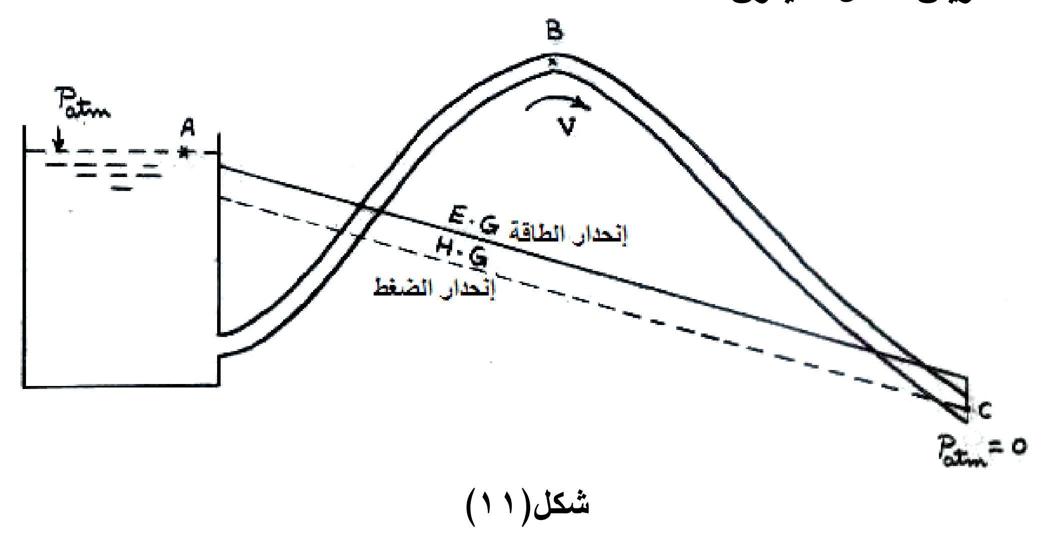
* فى حالة خطوط الأنابيب الطويلة Long Pipe Lines تكون الفواقد الثانوية صغيرة جداً بالنسبة إلى فاقد الإحتكاك وبالتالى يمكن إهمالها

* أما فى حالة الخطوط القصيرة Short Pipe Lines مثل شبكات الخطوط الداخلية بالمحطات(خطوط سحب الطلمبات وخطوط الطرد القصيرة للطلمبات) فإنه لا يمكن إهمال الفواقد الثانوية إذا ما قورنت بفاقد الإحتكاك

معامل الفاقد K	الفـاقد	م
0.5	عند تقليل مقطع الأنبوبة فجأة Sudden Contraction	١
0.5	فى المدخل العادى للأنبوبة من خزان Pipe Entrance	٢
0.05	عند تقليل مقطع الأنبوبة تدريجياً Reducer	٣
0.05	فى المدخل الملفوف للأنبوبة من خزان Bell-mouth Inlet or Reducer	٤
1	عند زيادة مقطع الأنبوبة فجأة Sudden Enlargement	٥
1	عند المخرج العادى للأنبوبة إلى خزان Pipe Exit	٦
1.4	عند زيادة مقطع الأنبوبة تدريجياً Increaser	٧
1.4	عند المخرج الملفوف للأنبوبة إلى خزان Bell-mouth Exit	٨
1.5	فى الكوع ٩٠° العادى Short Radius (نق = القطر)	٩
0.7	فى الكوع ٩٠° Long Radius (نق = ١,٥ القطر)	١٠
0.6	فى الكوع ٩٠° L.R (نق = ٤ أو ٥ أو ٦ القطر)	١١
1.2	فى الكوع ٩٠° المكون من جزئين تم تجميعهم باللحام Single Mitre Weld Elbow	١٢
0.4	فى الكوع ٤٥° العادى S.R (نق = القطر)	١٣
0.2	فى الكوع ٤٥° L.R (نق = ١,٥ القطر)	١٤
1.5	فى الوصلة U لتغيير الاتجاه ١٨٠° Return Bend 180°	١٥
0.9	فى الوصلة تيه(السريان خلال المخرج الرئيسى Line Flow)	١٦
2	فى الوصلة تيه(السريان خلال المخرج الفرعىBranch Flow)	١٧
0.08	فى الوصلة المشتركة Union	١٨
0.2 (Fully Open)	فى المحبس البوابة Gate Valve	١٩
0.1 (Fully Open)	فى المحبس الكروى Ball Valve	٢٠
10 (Fully Open)	فى المحبس المخروطى Globe Valve	٢١
5 (Fully Open)	فى المحبس الزاوية Angle Valve	٢٢
0.5	فى المحبس الجزرة Plug Valve	٢٣
0.2	فى المحبس الفراشة Butterfly Valve	٢٤
2.5	فى محبس عدم الرجوع Swing Check Valve	٢٥
1.5	فى الفلتر (المصفاة) Basket Strainer	٢٦
0.8	فى بلف عدم الرجوع(الرداخ) Foot Valve أعلى الفلتر (المصفاة)	٢٧

جدول(٢)

تطبيق: السريان خلال سيفون



شكل(١١)

* يوضح الشكل(١١) خزان متصل به أنبوبة عند النقطة A ثم ترتفع الأنبوبة إلى النقطة B ثم تنخفض إلى النقطة C ويطلق على الأنبوبة والخزان فى هذه الحالة إسم سيفون Siphon

* بتطبيق نظرية برنوللى على النقطتين A ، B مع وضع تأثير الإحتكاك الناشئ من لزوجة السائل المار بين النقطتين فى الإعتبار

الطاقة الكلية عند النقطة A = الطاقة الكلية عند النقطة B + الطاقة المفقودة بين النقطتين A ،B

$$\left(\frac{10p}{sp.gr}+\frac{v^2}{2g}+z\right)_A=\left(\frac{10p}{sp.gr}+\frac{v^2}{2g}+z\right)_B+\left(K\frac{v^2}{2g}+f\frac{l_{A-B}}{d}\frac{v^2}{2g}\right)$$

* الضغط عند النقطة A يساوى الضغط الجوى

* <u>سرعة سريان السائل عند النقطة A داخل الخزان تكون صغيرة جداً بالنسبة للسرعة خلال الأنبوبة الخارجة من الخزان وبالتالى يمكن إهمالها</u>

* أقصى ضغط سالب للماء عند درجة الحرارة العادية(٢٣,٦°م) يساوى ١٠ متر ($P_B=-1\,kg/cm^2$)

$$Z_B-Z_A=10\,mt-\frac{v^2}{2g}\left(1+K+f\frac{l_{A-B}}{d}\right)$$

* بتطبيق نظرية برنوللى على النقطتين A ، C نجد أن $Z_A-Z_C=\frac{v^2}{2g}\left(1+K+f\frac{l_{A-C}}{d}\right)$

K : معامل يعتمد على الفواقد الثانوية فى الأنبوبة

f : معامل الإحتكاك

* مما سبق نستنتج أنه <u>لكى يكون هناك سريان Flow فى الأنبوبة يجب أن يكون:</u>

١- منسوب نقطة B أعلى من منسوب السائل فى الخزان بقيمة أقل من ١٠ متر للماء عند درجة الحرارة العادية(٢٣,٦°م)

٢- منسوب نقطة C أقل من منسوب السائل فى الخزان

الباب الثانى
تصميم خطوط أنابيب نقل البترول

طرق نقل البترول

يتم نقل البترول ومشتقاته فى الحالة السائلة بالطرق الآتية:

* بإستخدام طلمبات للضخ فى خطوط الأنابيب
* بإستخدام سيارات الشحن (اللوارى)
* بإستخدام صهاريج السكة الحديد
* بإستخدام الناقلات البحرية (السفن)

تتميز طريقة نقل البترول بإستخدام طلمبات للضخ فى خطوط الأنابيب بما يلى:

أ- إستمرار عملية النقل بصرف النظر عن نوع السائل المنقول

ب- يتم نقل السوائل المختلفة بالتعاقب داخل خط واحد وليس نقل نوع واحد من السوائل كما يتم بإستخدام طرق النقل الأخرى

تصنيف أنظمة خطوط الأنابيب

* تصنف أنظمة خطوط الأنابيب الخاصة بنقل البترول إلى ثلاثة أنواع:

١ - نظام خط التجميع(Gathering Pipe Line System)

* خط الأنابيب والمعدات المستخدمة لنقل الزيت الخام ومنتجاته من(الآبار المنفردة ومواقع الإنتاج) إلى موقع رئيسى يسمى نظام تجميع

* يتكون نظام التجميع من فروع خط أنابيب تسرى إلى(محطات خط رئيسى أو مواقع أخرى) حيث يتم نقل الزيت ومنتجاته إلى نظام الخط الرئيسى

* تكون معظم الأقطار الشائعة للخطوط بتلك التفريعات من ٤ إلى ١٢ بوصة

* يحتوى نظام التجميع عادة على محطات ضخ لتجميع الزيت من بئر مفرد

* يكون خط الأنابيب المستخدم بنظام التجميع قصير بالمقارنة بخطوط الأنابيب الرئيسية ويتراوح مدى الطول من أمتار قليلة إلى عدة كيلومترات

٢ - نظام الخط الرئيسى(Trunk Pipe Line System)

* تكون المرحلة الثانية هى نقل الزيت الخام ومنتجاته عن طريق خطوط أنابيب رئيسية Trunk Pipe Lines

* يستخدم نظام الخط الرئيسى لنقل البترول ومنتجاته من الآبار ومواقع الإنتاج إلى مناطق المعالجة أو التكرير والتسويق وذلك بكميات كبيرة ولمسافات طويلة

٣ – نظام خط التوزيع(Pipe Line Distribution System)

* يتم نقل المنتجات البترولية من مصادر الإمداد مثل معامل التكرير والموانئ البحرية إلى مناطق الإستهلاك بواسطة نظام خط التوزيع Pipe Line Distribution System

* تكون معظم المنتجات البترولية هى أنواع البنزين المختلفة ، وقود النفاثات ، الكيروسين ، السولار ، المازوت والبوتاجاز المسال

* تختلف خطوط أنابيب التوزيع للمنتجات عن خطوط أنابيب الزيت الخام فى أنها عادة تبدأ كأنظمة ذات سعات كبيرة وتتفرع إلى أنظمة ذات سعات أصغر كإمدادات للمواقع المختلفة

رأس المال اللازم لمشروع خط الأنابيب

* هو عبارة عن الإستثمارات التى تدفع مرة واحدة للمشروع

* يستخدم رأس المال اللازم للمشروع أساساً فى تكاليف إنشاء خط الأنابيب وتكاليف إنشاء محطات الضخ

تكاليف إنشاء خط الأنابيب

* رأس المال المستثمر فى إنشاء خط الأنابيب(دولار/طن أو دولار/كيلومتر) يتناسب مع وزن مواسير الخط ، وهو يساوى ثمن المواسير أى يساوى(أ × وزن المواسير) حيث أن أ معامل

* وزن المواسير يعتمد على قطر وسمك وطول المواسير ، ونوع معدن المواسير

تكاليف إنشاء محطات الضخ

* رأس المال المستثمر فى إنشاء محطة للضخ(دولار/حصان) يتناسب مع قدرة هذه المحطة ، وهو يساوى الثمن الأساسى للمضخات

التكاليف السنوية لمشروع خط الأنابيب

* هى عبارة عن إجمالى المصروفات السنوية التى تدفع كل عام لتشغيل المشروع وتنقسم إلى البنود الآتية:

١– مصاريف التشغيل والصيانة لخط الأنابيب ومحطات الضخ وتشمل إستهلاك الكهرباء والمياه وقطع الغيار والوقود والزيوت ، وتكاليف أعمال الصيانة التى تتم عن طريق الشركات المتخصصة

٢– المرتبات والأجور

٣– الضرائب والتأمينات وما شابه ذلك

٤- مصاريف الإهلاك السنوية لخط الأنابيب ومحطات الضخ وتعرف بأنها نسبة رأس المال المستثمر لإنشاء خط الأنابيب أو محطات الضخ إلى العمر الإفتراضى لخط الأنابيب أو محطات الضخ حيث:

* يتم حساب مصاريف الإهلاك السنوية لخط الأنابيب بتقسيم رأس المال المستثمر لإنشاء خط الأنابيب على العمر الإفتراضى للخط(بإفتراض أنه حوالى ٣٣ عاماً أى بإفتراض نسبة الإهلاك السنوية لخط الأنابيب ٣%)

* يتم حساب مصاريف الإهلاك السنوية لمحطات الضخ بتقسيم رأس المال المستثمر لإنشاء محطات الضخ على العمر الإفتراضى للمضخات(بإفتراض أنه حوالى ٢٥ عاماً أى بإفتراض نسبة الإهلاك السنوية لمحطات الضخ ٤%)

٥- أى مصروفات أخرى مثل الفائدة على رأس المال المقترض

* يمكن حساب التكلفة الكلية لنقل البترول بخط الأنابيب وهى تساوى

$$\text{التكلفة الكلية للنقل(دولار/طن)} = \frac{\text{إجمالى التكاليف السنوية للمشروع(دولار)}}{\text{كمية السائل المنقولة فى العام(طن)}}$$

* بناء على ما سبق يتم تحديد سعر نقل البترول بخط الأنابيب بضرب التكلفة الكلية للنقل فى معامل ويمكن إعتبار قيمة هذا المعامل فى حدود ٢

أسس إختيار قطر خط الأنابيب

* يعتمد إختيار قطر خط الأنابيب على عمل دراسة تشمل الآتى:

١- حساب تكاليف خط الأنابيب وهى كما بالشكل(١٢) منحنى١ تزداد بزيادة قطر الخط

٢- حساب تكاليف محطات الضخ وهى كما بالشكل(١٢) منحنى٢ تقل بزيادة قطر الخط

* بجمع المنحنيين ١ ، ٢ نحصل على التكاليف الكلية للنقل منحنى٣ بالشكل(١٢)

* القطر الأمثل إقتصادياً لخط الأنابيب هو القطر الذى عنده أقل تكلفة نقل كلية للمشروع وقد وجد أن السرعة المناسبة للسوائل فى الأنابيب عند القطر الأمثل إقتصادياً تتراوح بين ١:٣ متر/ثانية

* يتضح من الخبرة العملية أن السرعة تقترب من ١متر/ثانية للسوائل مرتفعة اللزوجة وأيضاً تقترب من ٣ متر/ثانية للسوائل منخفضة اللزوجة

* يعتبر هذا المدى لسرعة سريان السوائل داخل الأنابيب(١:٣ متر/ثانية) هو القيد لرفع كفاءة خط الأنابيب

* عند إختيار قطر خط الأنابيب يجب أن يؤخذ فى الإعتبار معامل الخدمة(Service Factor) لخطة النقل السنوية وهو يكون فى حدود ٨٢% بمعنى أن يتم نقل الكمية المطلوبة سنوياً خلال ٣٠٠ يوم فقط وذلك حتى لا يؤثر إيقاف الخط لأى سبب على تحقيق الكمية المنقولة سنوياً

* لذلك تكون الكمية المنقولة بالمتر^{٣}/ساعة تساوى

$$Q = \frac{ton/year}{(300 \times 24) \times sp.gr} = \frac{ton/year}{7200 \times sp.gr}$$

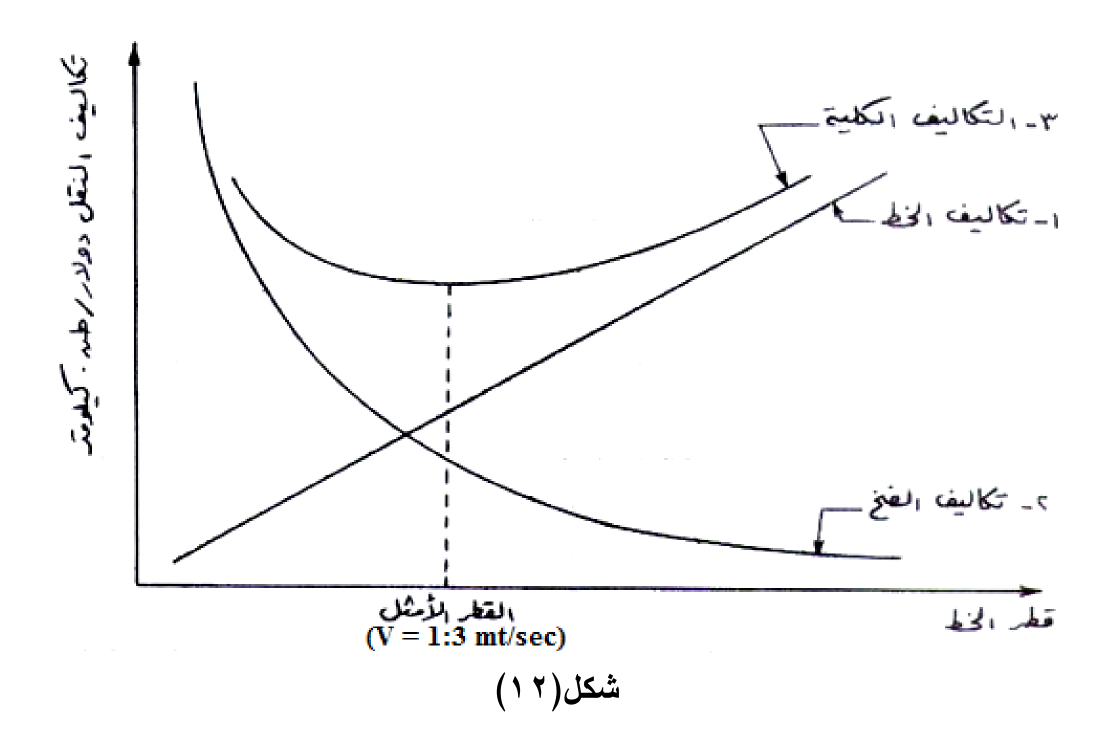
sp.gr : الكثافة النسبية للسائل المنقول بالخط

* وأيضاً تكون الكمية المنقولة بالمتر^{٣}/ساعة تساوى

$$Q = 1.824\ V D_i^2$$

V : هى سرعة السائل داخل الخط بالمتر/ثانية

D_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة



شكل(١٢)

العوامل المؤثرة على التكاليف الكلية لنقل البترول بخط الأنابيب

* التكاليف الكلية للنقل تنخفض بزيادة الكميات المنقولة سنوياً وأن مسافة النقل لها تأثير قليل جداً
* تختلف تكاليف النقل بإختلاف مواصفات السائل المنقول بخط الأنابيب طبقاً والعوامل الآتية:

١- تصبح تكاليف النقل أقل ما يمكن عند نقل سائل واحد ذو لزوجة منخفضة بخط الأنابيب

٢- تزداد تكاليف النقل بخط الأنابيب الذى ينقل سوائل متعددة بسبب التركيبات الإضافية و(الخطوط الفرعية)

٣- تزداد تكاليف النقل بخط الأنابيب المعزول حرارياً بسبب أعباء تكاليف العزل الحرارى للخط وتكاليف زيادة عمق الخط تحت الأرض عن العمق الطبيعى وتكاليف تسخين السائل وأيضاً إرتفاع القدرة اللازمة لضخ السائل اللزج

تصميم خط الأنابيب

* لتصميم خط أنابيب يجب أولاً تحديد البيانات الآتية:

١- يتم تحديد مدى للكميات المطلوب نقلها أى الكمية المبدئية والقصوى
Initial And Ultimate Throughput

٢- يتم تحديد مسار خط الأنابيب ومناسيب الأرض على طول المسار Profile وبالتالى تحديد طول خط الأنابيب بين محطة التدفيع ومحطة الإستلام

٣- يتم تحديد ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب ، على سبيل المثال بإفتراض أن يكون هذا الضغط فى حدود ٧٠ كجم/سم٢

٤- يتم تحديد الضغط عند نهاية خط الأنابيب أى الضغط عند محطة الإستلام Terminal ، على سبيل المثال بإفتراض أنه يتراوح بين(صفر : ٢) كجم/سم٢

خطوات التصميم

١- يتم حساب مدى لأقطار الخطوط التى تستوعب مدى الكميات المطلوب نقلها أى الحد الأدنى والأقصى لأقطار الخطوط

* حيث أن الكمية المنقولة بالمتر٣/ساعة تساوى $Q=1.824V D_i^2$ يكون القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة يساوى

$$D_i = \sqrt{\frac{Q}{1.824V}}$$

V : سرعة السائل داخل الخط بالمتر/ثانية

* لإيجاد الحد الأدنى للقطر الداخلى نضع الكمية القصوى Ultimate Throughput وأيضاً V = 3 mt/sec فى المعادلة السابقة

$$Minimum\ D_i = \sqrt{\frac{Q_{ultimate}}{1.824 \times 3}}$$

* لإيجاد الحد الأقصى للقطر الداخلى نضع الكمية القصوى Ultimate Throughput وأيضاً V = 1.5 mt/sec فى المعادلة السابقة

$$Maximum\ D_i = \sqrt{\frac{Q_{ultimate}}{1.824 \times 1.5}}$$

٢- يتم حساب فاقد الإحتكاك أى تقريباً فاقد الضغط المرتبط بمدى الكميات المطلوب نقلها وذلك لمدى الأقطار التى تم إختيارها فى الخطوة السابقة عن طريق معادلة حساب فاقد الإحتكاك آخذاً فى الإعتبار المعطيات

٣- يتم تسجيل نتائج الحسابات فى جدول كالآتى:

قطر الخط	سمك الخط	القطر الداخلى للخط D_i	أقل إجهاد خضوع لمعدن المواسير Min σ_y	فاقد الضغط على طول الخط (P_1-P_2)	الكمية المنقولة بالمتر المكعب فى الساعة	تكاليف إنشاء خط الأنابيب αD_i	تكاليف إنشاء محطات الضخ $\alpha (P_1-P_2)$	رأس المال اللازم لإنشاء خط الأنابيب ومحطات الضخ

* يمكن التحكم فى العوامل المتغيرة مثل قطر الخط وفاقد الضغط على طول الخط(مع مراعاة إختيار قيمة معقولة لضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب) بهدف إيجاد أقل قيمة ممكنة لرأس المال المستخدم لإنشاء خط الأنابيب ومحطات الضخ

* معظم رأس المال يستخدم فى إنشاء خط الأنابيب نفسه

* لتصميم خط أنابيب بأقل رأس مال فإنه يجب إختيار المواسير ذات الأقطار الصغيرة وفى هذه الحالة فإن محطات الضخ قد تكون متقاربة وهذا يحقق أعلى إستفادة من الإستثمارات المدفوعة فى أى وقت فور ضخ هذه الإستثمارات

* يجب أن نتلافى ضخ أى إستثمارات غير ضرورية مبكراً حيث أنه يتسبب فى عدم الإستفادة من هذه الإستثمارات عدة سنوات

مثال على تصميم خط أنابيب

مطلوب نقل سائل لمسافة قدرها ١٩٠ كيلومتر وبكمية قدرها ٢ مليون طن سنوياً سوف تزداد مستقبلاً إلى ٥ مليون طن سنوياً ، إفترض أن ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب يساوى ٧٠ كجم/سم٢

الحل:

* نحسب أولاً الكميات المبدئية والقصوى المطلوب نقلها بالمتر٣/ساعة بإفتراض أن السائل المطلوب نقله هو الماء

$$Q_{Initial} = 2\times10^6\, ton/year = \frac{2\times10^6}{7200\, sp.gr} = 278\, mt^3/hr$$

$$Q_{Ultimate} = 5\times10^6\, ton/year = \frac{5\times10^6}{7200\, sp.gr} = 694\, mt^3/hr$$

* نحسب الحد الأدنى والأقصى لأقطار الخطوط التى تستوعب مدى الكميات المطلوب نقلها

$$Minimum\ D_i = \sqrt{\frac{694}{1.824 \times 3}} = 11.26\, inch$$

$$Maximum\ D_i = \sqrt{\frac{694}{1.824 \times 1.5}} = 15.93\, inch$$

* نستنتج مما سبق أن أدنى وأقصى قطر لنقل هذا المدى من الكميات يساوى ١٢ ، ١٦ بوصة على التوالى أى يمكن إختيار ٣ أقطار لخط الأنابيب اللازم لنقل هذا المدى من الكميات المطلوبة وهذه الأقطار هى

١٢ بوصة ، ١٤ بوصة , ١٦ بوصة

أولاً: خط أنابيب قطر ١٢" بمحطة ضخ واحدة لنقل الكمية المبدئية ويتم إضافة عدد ٣ محطة ضخ مساعدة على مسافة ربع طول الخط تقريباً بين كل محطة ضخ والأخرى التى تليها وذلك لنقل الكمية القصوى

* يتم حساب فاقد الإحتكاك أى فاقد الضغط المرتبط بمدى الكميات المطلوب نقلها كالآتى:

بالرجوع إلى جدول٥(الباب الثانى) للخط ١٢" Standard Weight سمك الخط = ٠,٣٧٥"

$D_i = 12.75 - 2\,(0.375) = 12"$ and L = 190 kmt

١ – للكمية المبدئية $Q_I = 278\ m^3/hr$

$$V = \frac{278}{1.824(12)^2} = 1.06\ mt/\sec$$

* بتطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك للسريان المضطرب داخل الأنابيب نجد أن

$$h_f = 17.5425 \times \frac{1^{0.25}(190)278^{1.75}}{12^{4.75}} \times \frac{sp.gr}{10} = 47.2\, kg/cm^2$$

* لذلك يكفى تركيب محطة ضخ واحدة فى بداية الخط وذلك لنقل الكمية المبدئية

٢ – للكمية القصوى $Q_U = 694\ m^3/hr$

* نكرر نفس الخطوات السابقة

$V = 2.64$ mt/sec

$h_f = 234$ kg/cm^2

* حيث أن فاقد الضغط يتعدى ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب

* لذلك يكون عدد محطات الضخ المطلوبة لنقل الكمية القصوى يساوى $\frac{234}{70} = 3.34$ أى أنه يجب تركيب عدد ٤ محطات ضخ على طول الخط وذلك لنقل الكمية القصوى بحيث تعطى كل محطة ضغط قدره (234/4) أى ٥٨,٥ كجم/ سم٢

ثانياً: خط أنابيب قطر ١٤" بمحطة ضخ واحدة لنقل الكمية المبدئية ويتم إضافة محطة ضخ مساعدة فى منتصف طول الخط تقريباً وذلك لنقل الكمية القصوى

* يتم حساب فاقد الإحتكاك أى فاقد الضغط المرتبط بمدى الكميات المطلوب نقلها كالآتى:

للخط ١٤" Standard Weight سمك الخط = ٠,٣٧٥"

$$D_i = 14 - 2\,(0.375) = 13.25'' \;,\;\; L = 190 \text{ kmt}$$

١ – للكمية المبدئية $Q_I = 278\ m^3/hr$

$$V = 0.87 \text{mt/sec}$$
$$h_f = 29.5 \text{ kg/cm}^2$$

* لذلك يكفى تركيب محطة ضخ واحدة فى بداية الخط وذلك لنقل الكمية المبدئية

٢ – للكمية القصوى $Q_U = 694\ m^3/hr$

$$V = 2.17 \text{ mt/sec}$$
$$h_f = 146 \text{ kg/cm}^2$$

* يكون عدد محطات الضخ المطلوبة لنقل الكمية القصوى يساوى $\frac{146}{70} = 2.08$ أى أنه يجب تركيب محطتين ضخ على طول الخط وذلك لنقل الكمية القصوى بحيث تعطى كل محطة ضغط قدره (146/2) أى٧٣ كجم/ سم٢

ثالثاً: خط أنابيب قطر ١٦" بمحطة ضخ واحدة لنقل الكمية المبدئية والقصوى

* فى هذه الحالة يتم حساب فاقد الإحتكاك أى فاقد الضغط المرتبط بمدى الكميات المطلوب نقلها كالآتى:

للخط ١٦" Standard Weight سمك الخط = ٠,٣٧٥"

$$D_i = 16 - 2\,(0.375) = 15.25'' \;,\;\; L = 190 \text{ Kmt}$$

١ – للكمية المبدئية $Q_I = 278\ m^3/hr$

$$V = 0.65 \text{ mt/sec}$$
$$h_f = 15 \text{ kg/cm}^2$$

* لذلك يكفى تركيب محطة ضخ واحدة فى بداية الخط وذلك لنقل الكمية المبدئية

٢ – للكمية القصوى $Q_U = 694\ m^3/hr$

$$V = 1.64 \text{ mt/sec}$$
$$h_f = 75 \text{ kg/cm}^2$$

* يكون عدد محطات الضخ المطلوبة لنقل الكمية القصوى يساوى $\frac{75}{70} = 1.07$ أى أنه يكفى تركيب محطة ضخ واحدة فقط فى بداية الخط وذلك لنقل الكمية القصوى

* يتبين مما سبق أن الإختيار الأول للقطر وهو ١٢ بوصة هو الأنسب إقتصادياً حيث:

١ – له أقل رأس مال

٢ – يحقق أعلى إستفادة من الإستثمارات المدفوعة فى أى وقت فور ضخ هذه الإستثمارات

* يتبين مما سبق أن الإختيار الثالث للقطر وهو ١٦ بوصة ، رغم أنه سيحقق مدى الكميات المطلوب نقلها (المبدئية والقصوى) إعتباراً من بداية تشغيل المشروع إلا أنه غير مناسب لأنه يستوجب ضخ إستثمارات غير ضرورية مبكراً حيث لا يتم الإستفادة من هذه الإستثمارات عدة سنوات هذا بالإضافة إلى كبر رأس المال اللازم للمشروع

إختيار القطر المناسب لخط الأنابيب من بين عدة أقطار

* يوضح جدول(٣) طريقة إختيار القطر المناسب لخط الأنابيب من بين مجموعة من الأقطار(١٢" ، ١٦" ، ٢٠") وذلك لنقل كمية قدرها(٣٣١ م^{٣}/ساعة أى ٧٩٤٤ م^{٣}/يوم) من الزيت لمسافة قدرها ٨٠٥ كيلومتر

* حيث أن كثافة الزيت تساوى ٠,٨٤ جم/سم^{٣} ولزوجته تساوى ١٤,٤ سنتى ستوك عند ١٥,٦ ^{o}م

* يتبين من جدول(٣) أن الخط قطر ١٦ بوصة هو الأنسب إقتصادياً حيث:

١- له أقل تكلفة نقل للمتر المكعب

٢- قيمة إجمالى المبالغ المستثمرة تكون مناسبة بالمقارنة بأقطار الخطوط الأخرى

* بإفتراض أن سعر النقل ٨ دولار/ طن يتم إسترداد إجمالى المبالغ المستثمرة أى كامل تكلفة المشروع (١٨١ مليون دولار) بعد حوالى ٢١ عاماً و ٤ شهور تقريباً كما يتضح مما يلى:

١- تكلفة نقل الطن = ٣,٧٨٧ /٠,٨٤ = ٤,٥٠٨ دولار/طن

٢- صافى الربح للطن = ٨ - ٤,٥٠٨ = ٣,٤٩٢ دولار/طن

٣- صافى الربح السنوى = ٣,٤٩٢ × ٧٩٤٤ × ٣٦٥ × ٠,٨٤ = ٨,٥٠٥٢٢١ مليون دولار

٤- فترة إسترداد كامل تكلفة المشروع = ١٨١/٨,٥٠٥٢٢١ = ٢١ عاماً وأربعة أشهر تقريباً

إختيار التعديل المناسب لرفع الكمية المنقولة بخط الأنابيب من بين عدة تعديلات

* يوضح جدول(٤) طريقة إختيار التعديل المناسب لرفع الكمية المنقولة بنسبة ٥٠%

من(٣٣١ م^{٣}/ ساعة إلى ٤٩٦,٥ م^{٣}/ ساعة) أى من(٧٩٤٤ م^{٣}/ يوم إلى ١١٩١٦ م^{٣}/ يوم) بخط الأنابيب قطر ١٦ بوصة وذلك بالمقارنة بين ثلاث طرق لرفع الكفاءة وهى:

التعديل أ: إنشاء خط إضافى(Loop) قطره ١٢ بوصة على مدى الطول الكلى للخط الحالى وهو ٨٠٥ كيلومتر مع إضافة طلمبات لمحطتى الضخ الموجودين بالفعل

التعديل ب: إنشاء خط إضافى(Loop) قطره ١٦ بوصة وطوله ٥٧٩ كيلومتر مع إضافة طلمبات لمحطتى الضخ الموجودين بالفعل

التعديل ج: إنشاء محطتى رفع بينية إضافية مع إضافة طلمبات لمحطتى الضخ الموجودين بالفعل

* يتبين من جدول(٤) أن التعديل ج (إنشاء محطتى رفع بينية إضافية) يكون أحسن الإختيار حيث:

١- يحقق أقل تكلفة نقل للمتر المكعب

٢- يحقق أقل قيمة لإجمالى المبالغ المستثمرة

* بإفتراض أن سعر النقل ٨ دولار/ طن يتم إسترداد كامل تكلفة المشروع(٣١ مليون دولار) بعد حوالى ٦ سنوات و٣ شهور تقريباً كما يتضح مما يلى:

١- تكلفة نقل الطن = ٣,٢٧٦ /٠,٨٤ = ٣,٩ دولار/طن

٢- صافى الربح للطن = ٨ – ٣,٩ = ٤,١ دولار/طن

٣- صافى الربح السنوى =٤,١(١١٩١٦-٧٩٤٤) × ٣٦٥ × ٠,٨٤ =٤,٩٩٣٠٤٢ مليون دولار

٤- فترة إسترداد كامل تكلفة المشروع = ٣١/٤,٩٩٣٠٤٢ = ٦سنوات وثلاثة أشهر تقريباً

* فى مشروعات رفع كفاءة خطوط الأنابيب يتم إسترداد كامل تكلفة المشروع خلال سنوات أقل من مشروعات إنشاء خطوط الأنابيب

* فى مشروعات إنشاء خطوط الأنابيب يتم التحقق من

إقتصاديات المشروع و(سرعة إسترداد التكاليف Rate of return)

* فى عقود شراء الآلات والمهمات اللازمة لمشروعات إنشاء خطوط الأنابيب يتم إستخدام عقود التكلفة مع(نسبة إسترداد المصروفات Cost Plus Contracts)

* أى قطر لخط الأنابيب يحقق أقل تكلفة للنقل خلال مدى من الكميات المنقولة على سبيل المثال:

لخط أنابيب قطره ٢٠ بوصة وطوله ١٦٠٩ كيلومتر ينقل كمية قدرها ٦٦٢م^{٣}/ساعة من الزيت فإنه يمكن لهذه الكمية المنقولة أن تتضاعف إلى ١٣٢٤م^{٣}/ساعة بدون تغير ملحوظ فى تكلفة نقل المتر المكعب لأن إجمالى التكاليف السنوية سوف تزداد فى هذه الحالة مما يعادل تقريباً تأثير زيادة الكمية المنقولة

* أى إنخفاض فى الكمية المنقولة يسبب زيادة سريعة فى تكلفة نقل المتر المكعب ولذلك فإن إختيار قطر الخط يعتمد على وجود بيانات دقيقة عن الكميات المنقولة مما يمكننا من إختيار نوع وحجم نظام نقل السوائل

قطر خط الأنابيب	١٢ بوصة	١٦ بوصة	٢٠ بوصة
الضغط الكلى المطلوب	٤٢٢ كجم/سم^{٢}	١٤١ كجم/سم^{٢}	٥٠ كجم/سم^{٢}
عدد محطات الرفع	٥	٢	١
الضغط لكل محطة رفع	٨٤,٤ كجم/سم^{٢}	٧٠,٥ كجم/سم^{٢}	٥٠ كجم/سم^{٢}
# المبلغ المستثمر لإنشاء خط الأنابيب	١٢٠ مليون دولار	١٦٠ مليون دولار	٢٢٤ مليون دولار
# المبلغ المستثمر لإنشاء المحطات	٥٥,٥ مليون دولار	٢١ مليون دولار	١٠ مليون دولار
# إجمالى المبالغ المستثمرة	١٧٥,٥ مليون دولار	١٨١ مليون دولار	٢٣٤ مليون دولار
*تكاليف التشغيل السنوية :			
المرتبات والأجور لمحطة الرفع الأولى	٥٧٠ ألف دولار	٥٧٠ ألف دولار	٥٧٠ ألف دولار
المرتبات والأجور لمحطات الرفع البينية	١,٦ مليون دولار	٤٠٠ ألف دولار	–
المرتبات والأجور لمحطة الإستلام	٣٠٠ ألف دولار	٣٠٠ ألف دولار	٣٠٠ ألف دولار
مصاريف الوقود والزيوت(للقوى المحركة)	٢,٤ مليون دولار	٨٠٠ ألف دولار	٢٨٠ ألف دولار
مصاريف الصيانة	١,٩٩ مليون دولار	١,٤٦ مليون دولار	١,٢٩ مليون دولار
مصاريف الإهلاك للخط(٣%)	٣,٦ مليون دولار	٤,٨ مليون دولار	٦,٧٢ مليون دولار
مصاريف الإهلاك للمحطات(٤%)	٢,٢ مليون دولار	٨٤٠ ألف دولار	٤٠٠ ألف دولار
الضرائب(١% من إجمالى الاستثمار)	١,٧٥٥ مليون دولار	١,٨١ مليون دولار	٢,٣٤ مليون دولار
أى مصروفات أخرى	–	–	–
*إجمالى التكاليف السنوية	١٤,٤١٥ مليون دولار	١٠,٩٨ مليون دولار	١١,٩ مليون دولار
تكلفة نقل المتر المكعب	٤,٩٧ دولار/م^{٣}	٣,٧٨٧ دولار/م^{٣}	٤,١ دولار/م^{٣}

جدول(٣)

$$\text{تكلفة نقل المتر المكعب} = \frac{\text{إجمالى التكاليف السنوية}}{\text{الكمية المنقولة يومياً} \times ٣٦٥}$$

* الأسعار المذكورة بالجداول(٤،٣) هى أسعار إفتراضية للتوضيح فقط ولا يعتمد عليها للوصول إلى نتائج دقيقة

	التعديل أ	التعديل ب	التعديل ج
# المبلغ المستثمر الجديد لخط إضافى Loop ١٢" بطول ٨٠٥ كم	١٢٠ مليون دولار	–	–
# المبلغ المستثمر الجديد لخط إضافى Loop ١٦" بطول٥٧٩ كم	–	١١٥,٢ مليون دولار	–
# المبلغ المستثمر الجديد لإضافة طلمبات للمحطات	٥ مليون دولار	٥ مليون دولار	٥ مليون دولار
# المبلغ المستثمر الجديد لإنشاء محطتى رفع بينية	–	–	٢٦ مليون دولار
# إجمالى المبالغ المستثمرة الجديدة	١٢٥ مليون دولار	١٢٠,٢ مليون دولار	٣١ مليون دولار
***تكاليف التشغيل السنوية المضافة:**			
المرتبات والأجور	–	–	٨٠٠ ألف دولار
الوقود والزيوت(للقوى المحركة)	٤٠٠ ألف دولار	٤٠٠ ألف دولار	١,٦ مليون دولار
الصيانة	٦٠٠ ألف دولار	٥٢٠ ألف دولار	٨٠٠ ألف دولار
إهلاك خط الأنابيب(٣%)	٣,٦ مليون دولار	٣,٤٥٦ مليون دولار	–
إهلاك المحطات(٤%)	٢٠٠ ألف دولار	٢٠٠ ألف دولار	١,٢٤ مليون دولار
الضرائب(١% من إجمالى الاستثمار)	١,٢٥ مليون دولار	١,٢٠٢ مليون دولار	٣١٠ ألف دولار
أى مصروفات أخرى	–	–	–
***إجمالى التكاليف السنوية المضافة**	٦,٠٥ مليون دولار	٥,٧٧٨ مليون دولار	٤,٧٥ مليون دولار
تكلفة نقل المتر المكعب	٤,١٧ دولار/$م^٣$	٣,٩٨٥دولار/$م^٣$	٣,٢٧٦دولار/$م^٣$

جدول(٤)

أسس تحديد سمك خط الأنابيب

* يتم تصنيف خامة المواسير الشائعة الإستخدام فى شبكات وخطوط أنابيب نقل البترول بمعرفة معهد البترول الأمريكى(American Petroleum Institute(API والجمعية الأمريكية لإختبار المواد American Society Of Testing Materials (ASTM) إلى عدة أنواع من مواسير الصلب الكربونى Carbon Steel الغير ملحومة Seamless أو الملحومة طولياً Seam Weld بطريقة Electric Resistance Welding(ERW) على سبيل المثال:

* API 5 LX Grade X-52 ويكون الحد الأدنى لإجهاد الخضوع Yield Point لمعدن هذه المواسير يساوى ٥٢٠٠٠ رطل/بوصة٢

* API 5L Grade B ويكون الحد الأدنى لإجهاد الخضوع Yield Point لمعدن هذه المواسير يساوى ٣٥٠٠٠ رطل/بوصة٢

* ASTM A106 Grade B ويكون الحد الأدنى لإجهاد الخضوع Yield Point لمعدن هذه المواسير يساوى ٣٥٠٠٠ رطل/بوصة٢

* يعتبر تحديد السمك المطلوب لخط الأنابيب من الخطوات اللازمة لتصميم الخط ويمكن الإستعانة بالعلاقة الآتية فى تحديد سمك خط الأنابيب

$$PD_o = 2\ \sigma_{all}\ t$$
$$PD_o = 1.44\ \sigma_y\ t$$

P : هو ضغط تحمل المواسير وهو يعادل ضغط الإختبار للخط ، على سبيل المثال يساوى ١٠٢ بار أى ١٠٤ كجم/سم٢ لـ Class 600 كما يتضح من جدول(٦)

D_o : القطر الخارجى للخط

σ_{all} : الإجهاد المسموح به لمعدن الخط ويمكن إفتراض أنه يساوى $0.72\ \sigma_y$

σ_y : الحد الأدنى لإجهاد الخضوع لمعدن الخط وهو يساوى ٣٥٠٠٠ رطل/بوصة٢ للمواسير من نوع Grade B ، ويساوى ٥٢٠٠٠ رطل/بوصة٢ للمواسير من نوع X-52

t : السمك التصميمى لخط الأنابيب

* يتبين من المعادلة السابقة أن المواسير ذات القطر الأصغر تتحمل ضغط أعلى من المواسير ذات القطر الأكبر وذلك لنفس معدن وثخانة المواسير

* تقوم الشركات المصنعة للمواسير بعمل بيان يوضح فيه بعض المعلومات مثل:

١- نوع معدن المواسير

٢- الحد الأدنى لإجهاد الخضوع لمعدن المواسير

٣- التركيب الكيميائى لمعدن المواسير

٤- أقطار المواسير وسمكها

* نوضح من هذا البيان بعض أقطار المواسير وسمكها كما بالجدول(٥) حيث يتم تحديد رقم يسمى رقم الجدول Schedule Number ويحتوى كل رقم جدول على ثخانات المواسير ذات الأقطار العديدة المختلفة والتى تقع تحت هذا الرقم

* يمكن إستخدام المعادلة الآتية لتحديد رقم الجدول

$$\text{Schedule Number} = 1000\frac{P}{\sigma_{all}} = 1388.88\frac{P}{\sigma_y} = 2000\frac{t}{D}$$

* المعادلة السابقة تمكننا من إيجاد السمك المطلوب للخط بغرض التصميم

* المعادلة السابقة تمكننا من إيجاد رقم الجدول بغرض طلب شراء المواسير

* بعد عمل الحسابات يمكن إختيار الرقم الأكبر التالى للسمك وكذلك لرقم الجدول

* يمكن إنقاص الثخانات الإسمية المدونة بالبيان الموضح بالجدول(٥) بقيمة ١٢,٥% للوصول إلى الثخانة الفعلية وذلك نظراً لسماحية الدرفلة للمواسير

* سمك المواسير جدول ٨٠ يعادل سمك المواسير Extra Strong(XS) للأقطار من ٨/١ بوصة حتى ٨ بوصة

* حيث أن

$$\sigma_y \text{ (Grade X-52)} = 1.486\ \sigma_y \text{ (Grade B)}$$

لذلك يتحمل(سمك المواسير جدول ٤٠ خامة API 5 LX Grade X-52) نفس الضغط مثل(سمك المواسير جدول ٦٠ خامة API 5L Grade B)

Nominal Pipe Size (Inch)	Outside Diameter (Inch)	Nominal Wall Thickness (Inch)													
		Schedule Number													
		Standard	Extra Strong	Double Extra Strong	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160
⅛	**0.405**	**0.068**	**0.095**	**.**	**.**	**.**	**.**	**0.068**	**.**	**0.095**	**.**	**.**	**.**	**.**
¼	**0.54**	**0.088**	**0.119**	**.**	**.**	**.**	**.**	**0.088**	**.**	**0.119**	**.**	**.**	**.**	**.**
⅜	**0.675**	**0.091**	**0.126**	**.**	**.**	**.**	**.**	**0.091**	**.**	**0.126**	**.**	**.**	**.**	**.**
½	**0.84**	**0.109**	**0.147**	**0.294**	**.**	**.**	**.**	**0.109**	**.**	**0.147**	**.**	**.**	**.**	**0.188**
¾	**1.05**	**0.113**	**0.154**	**0.308**	**.**	**.**	**.**	**0.113**	**.**	**0.154**	**.**	**.**	**.**	**0.219**
1	**1.315**	**0.133**	**0.179**	**0.358**	**.**	**.**	**.**	**0.133**	**.**	**0.179**	**.**	**.**	**.**	**0.250**
1¼	**1.66**	**0.140**	**0.191**	**0.382**	**.**	**.**	**.**	**0.140**	**.**	**0.191**	**.**	**.**	**.**	**0.250**
1 ½	**1.9**	**0.145**	**0.200**	**0.400**	**.**	**.**	**.**	**0.145**	**.**	**0.200**	**.**	**.**	**.**	**0.281**
2	**2.375**	**0.154**	**0.218**	**0.436**	**.**	**.**	**.**	**0.154**	**.**	**0.218**	**.**	**.**	**.**	**0.344**
2 ½	**2.875**	**0.203**	**0.276**	**0.552**	**.**	**.**	**.**	**0.203**	**.**	**0.276**	**.**	**.**	**.**	**0.375**
3	**3.5**	**0.216**	**0.300**	**0.600**	**.**	**.**	**.**	**0.216**	**.**	**0.300**	**.**	**.**	**.**	**0.438**
3 ½	**4**	**0.226**	**0.318**	**0.636**	**.**	**.**	**.**	**0.226**	**.**	**0.318**	**.**	**.**	**.**	**.**
4	**4.5**	**0.237**	**0.337**	**0.674**	**.**	**.**	**.**	**0.237**	**.**	**0.337**	**.**	**0.438**	**.**	**0.531**
5	**5.563**	**0.258**	**0.375**	**0.750**	**.**	**.**	**.**	**0.258**	**.**	**0.375**	**.**	**0.500**	**.**	**0.625**
6	**6.625**	**0.280**	**0.432**	**0.864**	**.**	**.**	**.**	**0.280**	**.**	**0.432**	**.**	**0.562**	**.**	**0.719**
8	**8.625**	**0.322**	**0.500**	**0.875**	**.**	**0.250**	**0.277**	**0.322**	**0.406**	**0.500**	**0.594**	**0.719**	**0.812**	**0.906**

جدول(٥)

Nominal Pipe Size (Inch)	Outside Diameter (Inch)	Nominal Wall Thickness (Inch)												
		Schedule Number												
		Standard	Extra Strong	Double Extra Strong	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160
10	**10.75**	**0.365**	**0.500**	**1.000**	**.**	**0.250**	**0.307**	**0.365**	**0.500**	**0.594**	**0.719**	**0.844**	**1.000**	**1.125**
12	**12.75**	**0.375**	**0.500**	**1.000**	**.**	**0.250**	**0.330**	**0.406**	**0.562**	**0.688**	**0.844**	**1.000**	**1.125**	**1.312**
14	**14**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.250**	**0.312**	**0.375**	**0.438**	**0.594**	**0.750**	**0.938**	**1.094**	**1.250**	**1.406**
16	**16**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.250**	**0.312**	**0.375**	**0.500**	**0.656**	**0.844**	**1.031**	**1.219**	**1.438**	**1.594**
18	**18**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.250**	**0.312**	**0.438**	**0.562**	**0.750**	**0.938**	**1.156**	**1.375**	**1.562**	**1.781**
20	**20**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.250**	**0.375**	**0.500**	**0.594**	**0.812**	**1.031**	**1.281**	**1.500**	**1.750**	**1.969**
22	**22**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.250**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.875**	**1.125**	**1.375**	**1.625**	**1.875**	**2.125**
24	**24**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.250**	**0.375**	**0.562**	**0.688**	**0.969**	**1.219**	**1.531**	**1.812**	**2.062**	**2.344**
26	**26**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.312**	**0.500**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**
28	**28**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.312**	**0.500**	**0.625**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**
30	**30**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.312**	**0.500**	**0.625**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**
32	**32**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.312**	**0.500**	**0.625**	**0.688**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**
34	**34**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.312**	**0.500**	**0.625**	**0.688**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**
36	**36**	**0.375**	**0.500**	**.**	**0.312**	**0.500**	**0.625**	**0.750**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**
40	**40**	**0.375**	**0.500**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**
42	**42**	**0.375**	**0.500**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**
48	**48**	**0.375**	**0.500**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**	**.**

تابع جدول(٥)

* تصدر بعض الجهات مثل معهد البترول الأمريكى(API) ، معهد القياسات القومية الأمريكى The American National Standard Institute(ANSI) والجمعية الأمريكية لإختبار المواد (ASTM) بيان بالمواصفات القياسية للفلانشات والبلوف ، ويوضح جدول(٦) البيانات الخاصة بإحدى المواصفات القياسية للفلانشات والبلوف عند درجات الحرارة من(– ٢٩°م : ٣٨°م)

تصنيف الضغط للفلانشات والبلوف ANSI Pressure Classification	ضغط تحمل المواسير (ضغط الإختبارللخط) كجم/سم٢	ضغط التشغيل للخط كجم/سم٢	رقم الجدول المقابل لسمك الماسورة	
			خامة X - 52	خامة Grade B
150	20	14	S10	S20
250	35	24	S20	S30
300	52	35	S20	S30
400	70	47	S30	S40
600	104	70	S40	S60
900	156	105	S60	S100
1500	260	175	S100	S160
2500	434	292	XX(Double Extra Strong)	.

جدول(٦)

* <u>فى حالة عدم وجود القطر المطلوب تحت رقم الجدول يتم إختيار رقم الجدول التالى مباشرة والذى يحتوى على القطر المطلوب</u>

* يتضح أن ضغط تحمل المواسير(ضغط الإختبار للخط) يساوى تقريباً ١,٤٨٦ ضغط التشغيل للخط

* يمكن حساب وزن المتر الطولى بالكيلوجرام من ماسورة حديد (صلب كربونى كثافته ٧,٨٥ جم/سم٣ أو ٧,٨٥ طن/م٣) وهو يساوى $0.6264\ D_m\ t$

D_m : القطر المتوسط للماسورة بالبوصة وهو يساوى(القطر الخارجى + القطر الداخلى)/٢

t : سمك الماسورة بالمليمتر

الباب الثالث

تطبيقات على التصميمات الهيدروليكية لخطوط الأنابيب

التطبيق الأول: حساب الضغط المطلوب عند محطة الضخ

مثال١:

* مطلوب نقل وقود بكمية ٧٢ م٣/ساعة خلال خط أنابيب قطره ٦"Standard Weight(STD wt) وطوله ٩٦ كيلومتر

* مواصفات الوقود هى: الكثافة = ٠,٨٤ جم/سم٣ ، اللزوجة = ٤,٣٨ سنتى ستوك

* الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع(يمكن إهمالها)

* إحسب الضغط اللازم للضخ علماً بأن الضغط عند محطة الإستلام يساوى صفر

الحل:

* نحسب القطر الداخلى للخط بالرجوع إلى جدول٥(الباب الثانى)

For 6-inch STD wt pipe: Pipe thickness = 0.280" , D_o = 6.625"

D_i = 6.625 – 2 (0.280) = 6.065"

* نحسب سرعة السائل داخل الخط

$$V = \frac{Q}{1.824 D_i^2} = \frac{72}{1.824(6.065)^2} = 1.07 \; mt/\sec$$

$$\begin{cases} V > 0.15748 \dfrac{\gamma(Cst)}{d(inch)} \; i.e \; V > 0.15748\left(\dfrac{4.38}{6.065}\right) \\ \qquad V > 0.1137 \; mt/\sec \end{cases}$$

* يتم تطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان المضطرب بالخطوط

$$h_f / Kmt = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} Q^{1.75}}{D^{4.75}} \times \frac{sp.gr}{10} \quad \frac{kg/cm^2}{kmt}$$

* ومنها نحسب فاقد الضغط وهو يساوى الضغط اللازم للضخ فى هذه الحالة لأن الضغط عند محطة الإستلام يساوى صفر(الضغط الجوى)

$$h_f = 17.5425 \frac{4.38^{0.25} 72^{1.75}}{6.065^{4.75}} \times 96 \times \frac{0.84}{10} = 70 \, kg/cm^2$$

مثال٢:

* مطلوب نقل زيت بكمية قدرها ٢٠ م³/ساعة فى خط أنابيب قطره ٤" STD-wt وطوله ١ كيلومتر

* يحتوى الخط على عدد ٥ كوع ٤٥° عادى S.R قطر ٤" ، عدد ١٥ كوع ٩٠° عادى S.R قطر ٤" وعدد ٨ محبس بوابة ٤"

* الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع(يمكن إهمالها)

* إذا كان الضغط عند نهاية الخط ١ كجم/سم² ، إحسب الضغط اللازم للضخ فى الحالات الآتية:

أ: درجة حرارة الزيت = ٢٠°م وعندها كثافة الزيت = ٠,٩٦ جم/سم³ ولزوجة الزيت 88.17 c^{st}

ب: درجة حرارة الزيت = ٨٠°م وعندها كثافة الزيت = ٠,٩١ جم/سم³ ولزوجة الزيت 8.57 c^{st}

* إحسب نسبة خفض تكاليف الضخ الناتجة عن تسخين الزيت

الحل:

* نحسب القطر الداخلى للخط بالرجوع إلى جدول٥(الباب الثانى)

For 4-inch STD-wt pipe: Outside diameter = 4.5" , t = 0.237"

D_i = 4.5 – 2 (0.237) = 4.026"

* نحسب سرعة الزيت داخل الخط

$$V = \frac{20}{1.824(4.026)^2} = 0.68\ mt/\sec$$

* نحسب الفواقد الثانوية بالخط وذلك بالرجوع إلى جدول(٢) بالباب الأول:

١- الفاقد فى الكوع ٤٥° العادى S.R وله معامل فاقد = ٠,٤٠(عدد ٥ كوع)

٢- الفاقد فى الكوع ٩٠° العادى S.R وله معامل فاقد = ١,٥(عدد ١٥ كوع)

٣- الفاقد فى المحبس البوابة وله معامل فاقد = ٠,٢٠(عدد ٨ محبس)

٤- الفاقد عند مخرج الأنبوبة(الخط) وله معامل فاقد = ١

* الفواقد الثانوية تساوى

$$h_s = [0.40(5) + 1.5(15) + 0.20(8) + 1]\frac{0.68^2}{2\times 9.8} = 27.1 \times \frac{0.68^2}{2\times 9.8} = 0.64\,mt$$

أ: درجة حرارة الزيت = ٢٠°م

$$Q < 0.1436\ \gamma(Cst)\ d(inch)$$
$$Q < 0.1436\ (88.17)\ (4.026)$$
$$Q < 50.97\ mt^3/hr$$

* يتم تطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان الرقائقى بالخطوط

$$h_f\ /Kmt = 2.7717\frac{\gamma(Cst)\ Q(mt^3/hr)}{D_i^4(inch)} \times \frac{sp.gr}{10} \quad \frac{kg/cm^2}{kmt}$$

$$h_f = 2.7717 \frac{88.17(20)}{4.026^4} \times 1 \times \frac{0.96}{10} = 1.79\, kg/cm^2$$

* الفواقد الكلية تساوى $h_t = h_f + h_s = 1\cdot 79 + \left(0.64 \times \frac{0.96}{10} \right) = 1.85\, kg/cm^2$

* الضغط اللازم للضخ فى هذه الحالة يساوى $1.85 + 1 = 2.85\, kg/cm^2$

ب: درجة حرارة الزيت = ٨٠°م

Q > 0.287 γ(Cst) d(inch)
Q > 0.287 (8.57) (4.026)
Q > 9.9 mt^3/hr

* يتم تطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان المضطرب بالخطوط

$$h_f / Kmt = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} Q^{1.75}}{D_i^{4.75}} \times \frac{sp.gr}{10} \quad \left(kg/cm^2\right)/kmt$$

$$h_f = 17.5425 \frac{8.57^{0.25} 20^{1.75}}{4.026^{4.75}} \times 1 \times \frac{0.91}{10} = 0.69\, Kg/cm^2$$

* الفواقد الكلية تساوى $h_t = h_f + h_s = 0.69 + \left(0.64 \times \frac{0.91}{10} \right) = 0.75\, kg/cm^2$

* الضغط اللازم للضخ فى هذه الحالة يساوى $0.75 + 1 = 1.75\, kg/cm^2$

* حيث أن تكاليف الضخ تتناسب مع الفاقد الكلى أى فاقد الضغط ، لذلك يتضح أنه بتسخين الزيت تقل تكاليف الضخ بنسبة

$$\frac{1.85 - 0.75}{1.85} \times 100\% = 59.46\%$$

* على الرغم من وجود تكاليف للتسخين فى هذه الحالة إلا أنه فى النهاية تكون تكاليف الضخ أقل مما لو تم ضخ الزيت عند درجة حرارة ٢٠°م

التطبيق الثانى: حساب الكمية المنقولة بخط الأنابيب

* مطلوب نقل وقود فى خط أنابيب قطره ٨" STD-wt وطوله ١٢٩ كيلومتر

* مواصفات الوقود هى: الكثافة = ٠,٧٣ جم/سم[٣] واللزوجة = ٠,٨٤ سنتى ستوك

* الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع(يمكن إهمالها)

* إذا كان الضغط عند محطة الإستلام يساوى٢ كجم/سم[٢] وضغط الخط عند محطة الضخ يساوى(٦٠ كجم/سم[٢])

* إحسب الكمية المنقولة بالخط

١- نحسب فاقد الضغط لكل ١ كيلومتر من طول الخط

$$\frac{h_f}{Kmt} = \frac{60 - 2}{129} = 0.4496\ (kg/cm^2)/kmt$$

٢- لكى يتم نقل الوقود بخط الأنابيب بصورة إقتصادية يجب أن يكون السريان مضطرب

٣- بتطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان المضطرب بالخطوط

$$h_f / Kmt = 17.5425 \frac{0.84^{0.25} Q^{1.75}}{7.981^{4.75}} \times \frac{0.73}{10} = 0.4496$$

نجد أن الكمية المنقولة تساوى $Q = 158\ mt^3/hr$

التطبيق الثالث: رسم خط إنحدار الضغط H.G وبناء عليه تحديد الضغط عند أى نقطة على طول مسار خط الأنابيب

* الشكل(١٣) يوضح مسار خط أنابيب مدون عليه(مناسيب بعض النقاط بالنسبة لمستوى سطح البحر Profile)

* قطر خط الأنابيب = ١٢" STD – wt

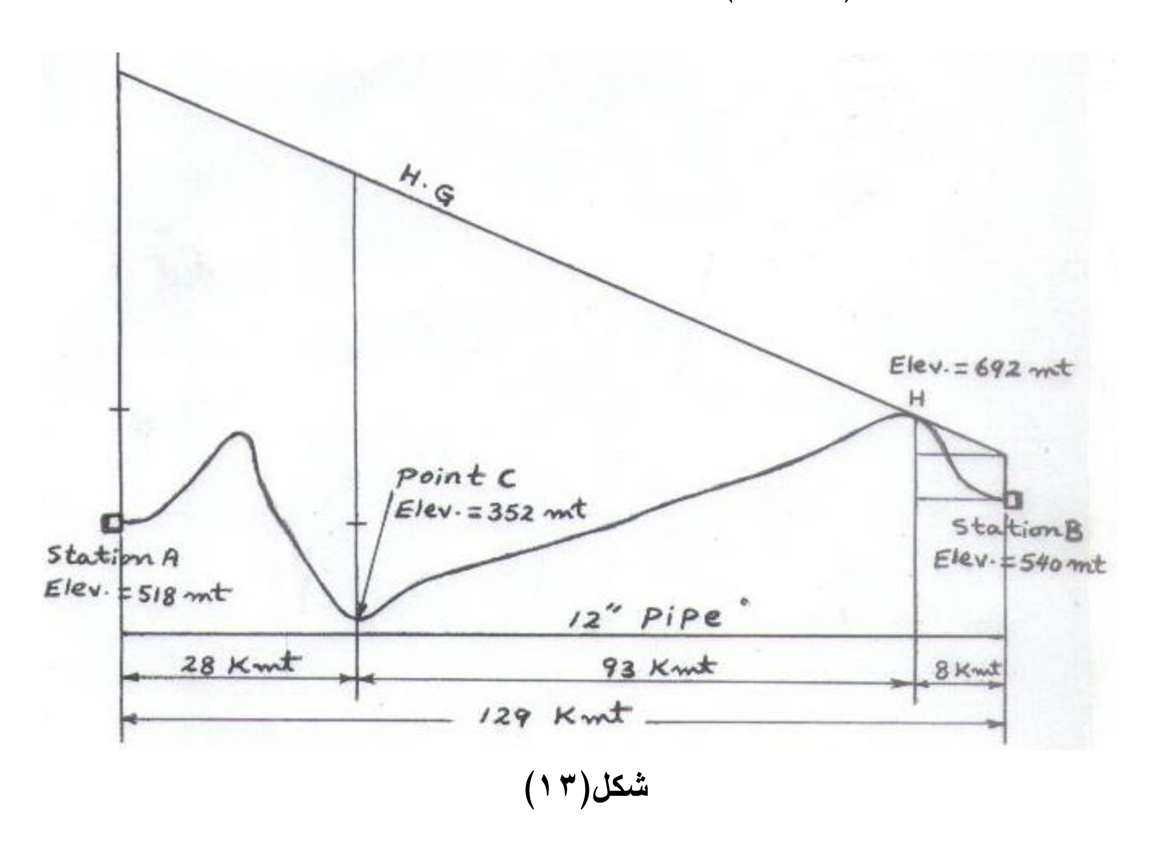
* ضغط الطلمبة عند المحطة A يساوى ٥٦ كجم/سم٢

* السائل المنقول زيت كثافته ٠,٨١جم/سم٣ ولزوجته ١٣,١ سنتى ستوك ، إوجد الآتى:

١- الكمية المنقولة من المحطة A

٢- ضغط سحب الطلمبة عند المحطة B

٣- الضغط عند تعدية النهر(النقطة C)



شكل(١٣)

* عندما نرسم خط إنحدار الضغط Hydraulic Gradient على الوضع المبين بالشكل(١٣) يجب أن يمر خط إنحدار الضغط بقمة التل Peak أى بالنقطة H على الأقل إن لم يكن أعلى منها وذلك لعدم حدوث ضغط سالب Vacuum داخل الخط بالمنطقة المحيطة بقمة التل

* نحسب الضغط الإستاتيكى عند المحطة A بالنسبة إلى النقطة H وهو يساوى

$$(692-518)\frac{0.81}{10}=14\,kg/cm^2$$

وبطرح قيمة هذا الضغط من قيمة ضغط الطلمبة عند المحطة A نوجد فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط من المحطة A إلى النقطة H

$$h_f = 56-14 = 42\,kg/cm^2$$

* بتطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان المضطرب داخل الخطوط

$$\frac{41.91}{121}=17.5425\frac{13.1^{0.25}Q^{1.75}}{12^{4.75}}\times\frac{0.81}{10}$$

نجد أن الكمية المنقولة من المحطة A تساوى $Q = 263\ mt^3/hr$

* نحسب الضغط الإستاتيكى عند المحطة B بالنسبة إلى النقطة H وهو يساوى

$$(692-540)\frac{0.81}{10}=12.3\,kg/cm^2$$

* ثم نحسب فاقد الضغط من النقطة H إلى المحطة B وهو يساوى

$$\frac{41.91}{121}\times 8 = 2.8\,kg/cm^2$$

وبطرح هذه القيمة من قيمة الضغط الإستاتيكى عند المحطة B بالنسبة إلى النقطة H نحصل على ضغط سحب الطلمبة عند المحطة B وهو يساوى

$$12.3 - 2.8 = 9.5\ kg/cm^2$$

* نوجد الضغط الإستاتيكى عند النقطة C بالنسبة إلى المحطة A وهو يساوى

$$(518-352)\frac{0.81}{10}=13.4\,kg/cm^2$$

* ثم نحسب فاقد الضغط من المحطة A إلى النقطة C وهو يساوى

$$\frac{41.91}{121}\times 28 = 9.7\,kg/cm^2$$

* يكون الضغط عند تعدية النهر(النقطة C) = ضغط الطلمبة عند المحطة A + الضغط الإستاتيكى عند النقطة C بالنسبة إلى المحطة A – فاقد الضغط من المحطة A إلى النقطة C

$$= 56 + 13.4 - 9.7 = 59.7\ kg/cm^2 \sim 60\ kg/cm^2$$

يتضح مما سبق الآتى:

* إذا كانت الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار خط الأنابيب Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع فإنه يمكن إهمالها فى هذه الحالة

* إذا كانت الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار خط الأنابيب Profile كبيرة مقارنة بـ Head التدفيع وقد يظهر ذلك فى الخطوط المارة بالبلدان الجبلية فإنه لا يمكن إهمالها فى هذه الحالة

* حيث أن الضغط عند أى منخفض يمر به مسار الخط يكون أكبر من ضغط الخط عند محطات الضخ لذلك يجب إختيار سمك المواسير عند هذه الأماكن بحيث يكون أكبر قليلاً من سمك المواسير عند الأماكن الأخرى ومما يستوجب أيضاً عمل أنظمة للتحكم فى الضغط وتهريب الضغط وذلك لضمان أن الضغط عند(المناطق المنخفضة عن التلال) وعند(الوديان المنخفضة) لا يتعدى ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب (يمكن الرجوع إلى ظاهرة الطرق المائى/الـ Surge بملحق٦ للتوضيح)

* الضغط عند أى مرتفع يمر به مسار الخط يكون أقل ما يمكن

* يمكن الرجوع إلى نظرية برنوللى(Bernoulli's Equation) بالباب الأول للتوضيح

* إذا تم تعديل مسار الخط بين المحطتين A ، B لكى نتلاشى إمرار الخط فوق التلال وذلك على طول مسار الخط بين المحطتين A ، B وبفرض أن الضغط عند المحطة B يساوى ٢ كجم/سم^{٢} نجد أن الطول المسموح به للخط بعد التعديل يساوى ١٥٥,٥ كيلومتر وذلك للحفاظ على نفس الكمية المنقولة من المحطة A وهى(٢٦٣ م^{٣}/ساعة) وفى حالة زيادة طول الخط بعد التعديل عن هذه القيمة السابقة يحدث إنخفاض فى الكمية المنقولة من المحطة A

* بعد إنشاء خط الأنابيب و قبل تشغيله يجب ملء الخط بالمياه وأخذ الهواء من أعلى نقطة بالخط وهى(قمة التل H) وذلك حتى نتمكن من رفع الضغط على طول الخط حتى قيمة ضغط الإختبار للخط ، حيث أن إنفصال عمود الهواء/الأبخرة داخل خط الأنابيب يعوق رفع الضغط بالخط ويحتمل أن يعوق سريان السائل بالخط بسبب قابلية الهواء/الأبخرة للإنضغاط وخصوصاً فى الخطوط المارة بالبلدان الجبلية

* سوف نوضح فيما بعد تأثير الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار خط الأنابيب Profile فى تحديد المسافات البينية لمحطات الضخ Station Spacing

التطبيق الرابع: حساب عدد محطات الضخ على طول مسار خط الأنابيب والضغط الذى تعطيه كل محطة ضخ

* مطلوب نقل زيت بكمية قدرها ٢٠٠٠ م٣/ساعة خلال خط أنابيب قطره ٢٤"(STD wt pipe) وطوله(٤٠٠ كيلومتر) كما بالشكل(١٤)

* كثافة الزيت = ٠,٨٨ جم/سم٣ ولزوجته = ٢٤,١٥ سنتى ستوك

* الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع(يمكن إهمالها)

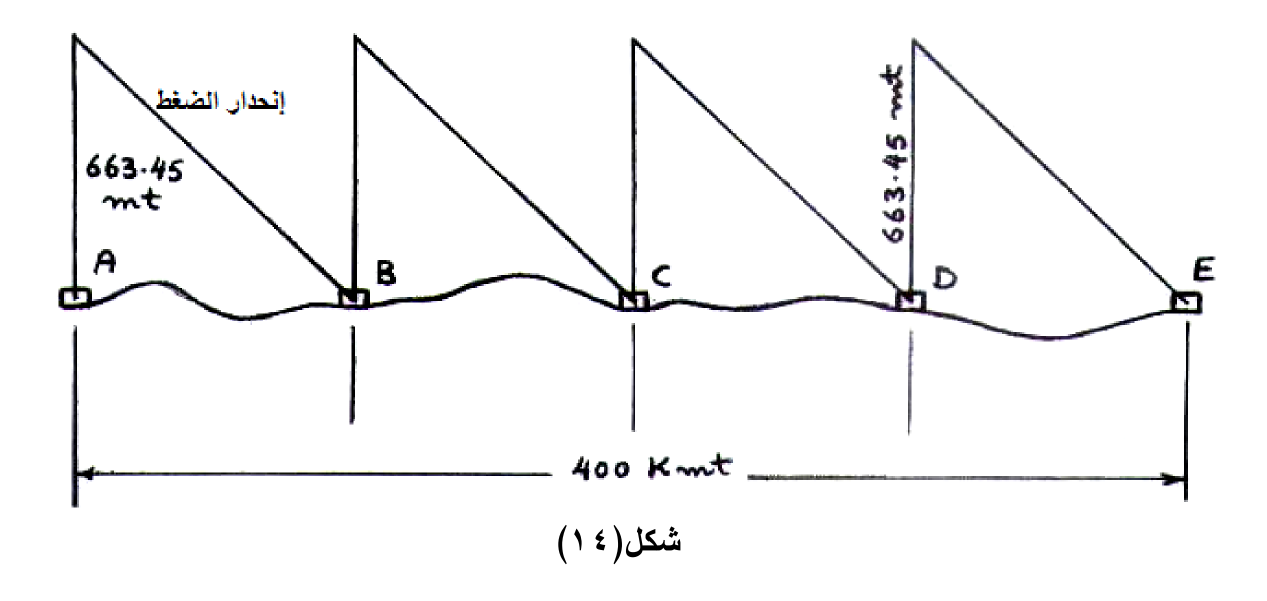
* ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب = ٧٠ كجم/سم٢ ، إوجد الآتى:

١ – كمية الزيت المنقولة سنوياً بالطن

٢ – عدد محطات الضخ على طول مسار الخط

٣ – رسم إنحدار الضغط على طول مسار الخط

٤ – المسافات البينية لمحطات الضخ



شكل(١٤)

* نحسب كمية الزيت المنقولة سنوياً بالطن وهى تساوى

$$Ton/year = 7200\ (Q)\ sp.gr = 7200\ (2000)\ 0.88 = 12.7 \times 10^6$$

* ثم نحسب سرعة الزيت داخل الخط

$$V = \frac{Q}{1.824 D_i^2} = \frac{2000}{1.824[24-2(0.375)]^2} = 2.03\ mt/\sec$$

$$V > 0.15748\frac{\gamma(Cst)}{d(inch)}$$

حيث أن:

$$> 0.15748\frac{24.15}{23.25}$$

$$> 0.16\, mt/\sec$$

* يمكن إستخدام معادلة حساب فاقد الإحتكاك أو فاقد الضغط للسريان المضطرب داخل الخطوط

$$h_f\ / Kmt = 17.5425\frac{\gamma^{0.25}Q^{1.75}}{D_i^{4.75}} \times \frac{sp.gr}{10}$$

$$h_f\ = 17.5425\frac{24.15^{0.25}2000^{1.75}}{23.25^{4.75}} \times 400 \times \frac{0.88}{10} = 265\, kg/cm^2$$

* لذلك يكون عدد محطات الضخ يساوى $\frac{265}{70} = 3.79$ تقرب إلى عدد ٤ محطات للضخ على طول مسار الخط بحيث تعطى كل محطة ضغط قدره $(265/4) = 66.25\ Kg/cm^2$

* يتم تحديد ميل خط إنحدار الضغط كما يلى:

كما نعلم أن فاقد الضغط بين محطة الضخ A ومحطة الاستلام E يساوى $265\ Kg/cm^2$ لذلك تكون قيمة فاقد الضغط لكل كيلومتر من طول الخط تساوى $\frac{265}{400} = 0.6625(kg/cm^2)/Kmt$ وهذا هو ميل خط إنحدار الضغط ، ويتم تحويل قيم الضغط وفاقد الضغط للزيت إلى Head مياه

* يمكن رسم خط إنحدار الضغط كالآتى:

أ- بداية من نقطة A وبمقياس رسم معين نرتفع مسافة رأسية قدرها $66.25 \times \frac{10}{sp.gr_{water}} = 662.5\, mt$

ونحدد نقطة ومن هذه النقطة نرسم خط إنحدار الضغط بميل قدره $0.6625 \times \frac{10}{sp.gr_{water}} = 6.625\, mt$

لكل ١ كيلومتر من طول الخط حتى يتقاطع مع منسوب الأرض ونقطة التقاطع تكون هى موقع محطة الضخ B

ب- نكرر هذا العمل حتى نحدد موقع المحطات E , D , C

* حيث أن الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع ويمكن إهمالها ، لذلك تكون محطات الضخ على مسافات بينية متساوية تقريباً حوالى(١٠٠ كيلومتر)

التطبيق الخامس: حساب المسافات البينية لمحطات الضخ على طول مسار خط الأنابيب

* الشكل(١٥) يبين مسار خط الأنابيب موضحاً عليه(مناسيب بعض النقاط بالنسبة لمستوى سطح البحر (Profile

* مطلوب نقل زيت بكمية قدرها ٢,١٧ مليون طن سنوياً فى خط أنابيب قطره ١٠"(STD wt) وطوله(١٦٠ كيلومتر)

* كثافة الزيت تساوى ٠,٨١ جم/سم٣ ولزوجة الزيت تساوى ٧,٤ سنتى ستوك

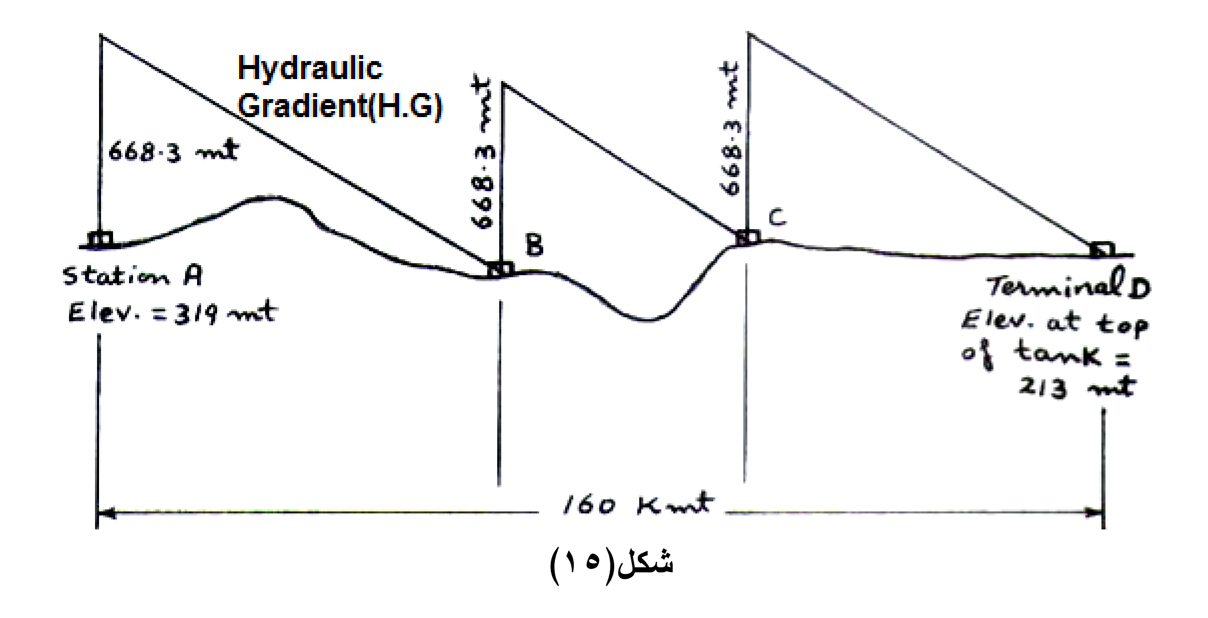
* ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب يساوى ٧٠ كجم/سم٢ ، إوجد الآتى:

١- كمية الزيت المنقولة بالمتر٣/ ساعة

٢- عدد محطات الضخ على طول مسار الخط

٣- رسم إنحدار الضغط(H.G) على طول مسار الخط

٤- المسافات البينية لمحطات الضخ



شكل(١٥)

* نحسب كمية الزيت المنقولة بالمتر٣/ساعة

$$Q = \frac{ton/year}{7200 \; sp.gr} = \frac{2.17 \times 10^6}{7200 \times 0.81} = 372 \, mt^3/hr$$

* ثم نوجد سرعة الزيت داخل خط الأنابيب

$$V = \frac{Q}{1.824 D_i^2} = \frac{372}{1.824[10.75 - 2(0.365)]^2} = 2.03 \, mt/\sec$$

حيث أن

$$V > 0.15748 \frac{\gamma(Cst)}{d(inch)} \qquad i.e \qquad V > 0.15748\left(\frac{7.4}{10.02}\right)$$

V > 0.1163 mt/sec

* يتم تطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك للسريان المضطرب بالخطوط

$$h_f / Km = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} Q^{1.75}}{D_i^{4.75}} \times \frac{sp.gr}{10}$$

$$h_f = 17.5425 \frac{7.4^{0.25} \times 160 \times 372^{1.75}}{10.02^{4.75}} \times \frac{0.81}{10} = 208 \; kg/cm^2$$

* حيث أنه يوجد ضغط إستاتيكى نتيجة أن منسوب محطة الدفع A أعلى من منسوب محطة الإستلام D وهو يساوى $(319 - 213) \times \frac{0.81}{10} = 8.6 \, Kg/cm^2$ وبطرح قيمة هذا الضغط من فاقد الضغط بين محطة الضخ ومحطة الإستلام نحصل على الضغط الكلى المطلوب للضخ عند المحطة A وهو يساوى

$$208 - 8.6 = 199.4 \text{ kg/cm}^2$$

* لذلك يكون عدد محطات الضخ على طول مسار الخط يساوى $\frac{199.4}{70} = 2.85$ تقرب إلى ثلاث محطات ضخ على طول مسار الخط بحيث تعطى كل محطة ضغط قدره $\frac{199.4}{3} = 66.5 \; kg/cm^2$

* يتم تحديد ميل خط إنحدار الضغط(H.G) كما يلى:

كما نعلم أن فاقد الضغط بين محطة الضخ A ومحطة الإستلام D يساوى 208 Kg/cm^2 لذلك تكون قيمة فاقد الضغط لكل كيلومتر من طول الخط تساوى $\frac{208}{160} = 1.3 (kg/cm^2)/Kmt$ وهذا هو ميل خط إنحدار الضغط ، ويتم تحويل قيم الضغط وفاقد الضغط للزيت إلى Head مياه

* يمكن رسم خط إنحدار الضغط كالآتى:

أ- بداية من نقطة A وبمقياس رسم معين نرتفع مسافة رأسية قدرها $665 mt = 66.5 \times \frac{10}{Sp.gr_{water}}$

ونحدد نقطة ومن هذه النقطة نرسم خط إنحدار الضغط بميل قدره $1.3 \times \frac{10}{Sp.gr_{water}} = 13 mt$ لكل ١ كيلومتر من طول الخط حتى يتقاطع مع منسوب الأرض ونقطة التقاطع هى الموقع التقريبى لمحطة الضخ B

ب- نكرر هذا العمل لإيجاد الموقع التقريبى للمحطة C

* مما سبق يتبين أن منسوب المحطة B يساوى ١٦٦ متر ومنسوب المحطة C يساوى ٣١٩ متر بالنسبة لمستوى سطح البحر

* حيث أن المحطة B منخفضة عن المحطة A بمقدار (319 – 166) = 153 mt لذلك تكون المسافة AB أكبر من أقصر مسافة بينية للمحطات بمقدار

$$\frac{153 mt}{13 (mt/kmt)} = 11.769 \, kmt$$

* حيث أن محطة الإستلام D منخفضة عن المحطة C بمقدار 106 mt = (213 – 319) لذلك تكون المسافة CD أكبر من أقصر مسافة بينية للمحطات بمقدار

$$\frac{106\,mt}{13(mt/kmt)} = 8.154\,kmt$$

* يتضح من الشكل(١٥) أن أقصر مسافة بينية هى BC ، ويتبين مما سبق أن

$$AB = BC + 11.769$$
$$CD = BC + 8.154$$
$$AB + BC + CD = 160\ Kmt$$
$$BC + 11.769 + BC + BC + 8.154 = 160$$
$$3BC = 140.077$$

BC = 46.692 Kmt ، AB = 58.461 Kmt ، CD = 54.846 Kmt

التطبيق السادس: مقاومة خط الأنابيب لنقل مختلف أنواع البترول ومنتجاته

* فى حالة نقل معظم أنواع البترول ومنتجاته(بإفتراض أن عددهم ١٢ نوع) خلال خط أنابيب قطره ١٦" وسمكه ٠,٣٤٤" وطوله ٩٦ كيلومتر

* فإنه يتعين رسم منحنى يوضح تغير فاقد الضغط(فى صورة Head بالمتر) مع الكمية المنقولة بالمتر^3/ساعة لكل سائل على حده(منحنى مقاومة خط الأنابيب لسريان السائل) وذلك بإستخدام المعادلة

$$h_f = 17.5425\frac{\gamma^{0.25} l\, Q^{1.75}}{d^{4.75}}$$

h_f : فاقد الإحتكاك فى خط الأنابيب بالمتر

γ : لزوجة السائل المنقول بخط الأنابيب بالسنتى ستوكس

l : طول خط الأنابيب بالكيلومتر

Q : الكمية المنقولة بخط الأنابيب بالمتر^3/ساعة

d : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

* وبتطبيق هذه المعادلة على خط قطره ١٦" وسمكه ٠,٣٤٤" وطوله ٩٦ كيلومتر نجد أن

$$h_f = 0.003958\ \gamma^{0.25} Q^{1.75}$$

* وبالتعويض فى هذه المعادلة عن قيمة اللزوجة بالسنتى ستوك لكل سائل على حده يمكن إستنتاج معادلة تغير فاقد الضغط مع الكمية(منحنى مقاومة خط الأنابيب) كما يتضح من جدول(٧)

* يتم رسم منحنيات مقاومة خط الأنابيب لنقل عدد ١٢ سائل كما يتضح من الرسم البيانى بالشكل(١٦)

* الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع(يمكن إهمالها)

معادلة تغير فاقد الضغط مع الكمية	اللزوجة بالسنتى ستوك عند ١٥,٦° م	الكثافة بالجم/سم[٣] عند ١٥,٦° م	نوع السائل	م
$h_f = 0.002953Q^{1.75}$	٠,٣١	٠,٥٦	بوتاجاز مسال	١
$h_f = 0.003328\ Q^{1.75}$	٠,٥٠	٠,٧١	نافتا	٢
$h_f = 0.003454\ Q^{1.75}$	٠,٥٨	٠,٧٤	بنزين	٣
$h_f = 0.003958\ Q^{1.75}$	١	١	مياه	٤
$h_f = 0.004546\ Q^{1.75}$	١,٧٤	٠,٨٠	كيروسين/تربياين	٥
$h_f = 0.004584\ Q^{1.75}$	١,٨	٠,٧٤٥	متكثفات	٦
$h_f = 0.005026\ Q^{1.75}$	٢,٦(١,٦:٧)	٠,٨٤٥	سولار	٧
$h_f = 0.005726\ Q^{1.75}$	٤,٣٨	٠,٨٦	ديزل	٨
$h_f = 0.007367\ Q^{1.75}$	١٢	٠,٨٤	خام(نوع١)	٩
$h_f = 0.008432\ Q^{1.75}$	٢٠,٦	٠,٨٧	خام(نوع٢)	١٠
$h_f = 0.008774\ Q^{1.75}$	٢٤,١٥	٠,٨٨	خام(نوع٣)	١١
$h_f = 0.009550\ Q^{1.75}$	٣٣,٨٩ عند ٤٠° م	٠,٩٢ عند ٤٠° م	مازوت	١٢

جدول(٧)

* يوضح جدول(٧) القيم الإفتراضية التقريبية للكثافة واللزوجة ويجب القياس الفعلى لكثافة ولزوجة السائل المار بخط الأنابيب للوصول إلى نتائج دقيقة

* بمساعدة منحنيات مقاومة خط الأنابيب يمكن تحديد الكمية القصوى المنقولة بالخط عند أى ضغط محدد أو تحديد الضغط اللازم لنقل كمية محددة بالخط وذلك لأياً من أنواع البترول ومنتجاته وبالتالى يمكن تحديد مواصفات الطلمبات التى سيتم تركيبها بمحطات الدفع

* بإفتراض وجود عدد ١ طلمبة مناولة(Low-Head Pump) وعدد ٢ طلمبة رئيسية (High-Head Pump) من نوع أ وعدد ١ طلمبة رئيسية(High-Head Pump) من نوع **ب**

* توضح الجداول(٨)،(٩) تغير فرق الضغط المانومترى الذى تعطيه الطلمبات(فى صورة Head بالمتر) مع الكمية بالمتر[٣]/ساعة

* بإستخدام الجداول(٨)،(٩) يمكن رسم منحنيات أداء طلمبات الدفع العاملة على الخط(I ، II ، III) على نفس الرسم البيانى الذى يوضح منحنيات مقاومة خط الأنابيب(١-١٢) وبنفس مقياس الرسم كما يتضح من شكل(١٦)

* يمكن إستخدام كلاً من: منحنيات مقاومة خط الأنابيب(١-١٢) ومنحنيات أداء طلمبات الدفع العاملة على الخط(I ، II ، III) لحساب الكمية المنقولة بخط الأنابيب بمعرفة كلاً من: الضغط الخارج من طلمبات الدفع والضغط عند محطة الإستلام ، وأيضاً فى حالة وجود أكثر من سائل واحد بالخط حيث تعطى مثل هذه المنحنيات القيم المحسوبة للكميات المنقولة بدقة معقولة

* يمكن الإستعانة بأجهزة قياس الكثافة Density Meter وأجهزة قياس اللزوجة Viscosity Meter وأيضاً أجهزة قياس الضغط وأجهزة قياس درجة الحرارة بتركيبها على خط الأنابيب لكى تعطينا قيم دقيقة للكثافة واللزوجة والضغط والحرارة ويمكن إدخال المعادلات وكافة البيانات إلى جهاز الكمبيوتر لرسم منحنيات مقاومة خط الأنابيب أثناء نقل البترول بخط الأنابيب

* يكون فاقد الضغط بين محطة الدفع ومحطة الإستلام أى بين النقطتين ١ ، ٢ $(P_1 - P_2)$ بالبار يساوى

$$P_1 - P_2 = 1.72 \frac{l \; sp.gr \; \gamma^{0.25} \, Q^{1.75}}{d_i^{\,4.75}}$$

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل المنقول بخط الأنابيب(بدون وحدات أو جم/سم٣)

γ : اللزوجة الكينماتيكية للسائل المنقول بخط الأنابيب بالسنتى ستوك

l : طول خط الأنابيب بالكيلومتر

Q : الكمية المنقولة بخط الأنابيب بالمتر٣/ساعة

d_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

وتكون الكمية المنقولة بخط الأنابيب Q بالمتر٣/ساعة تساوى

$$Q = 0.73352 \; \frac{d_i^{\,2.714283} \left(P_1 - P_2\right)^{0.571428}}{l^{0.571428} \, sp.gr^{0.571428} \, \gamma^{0.142857}}$$

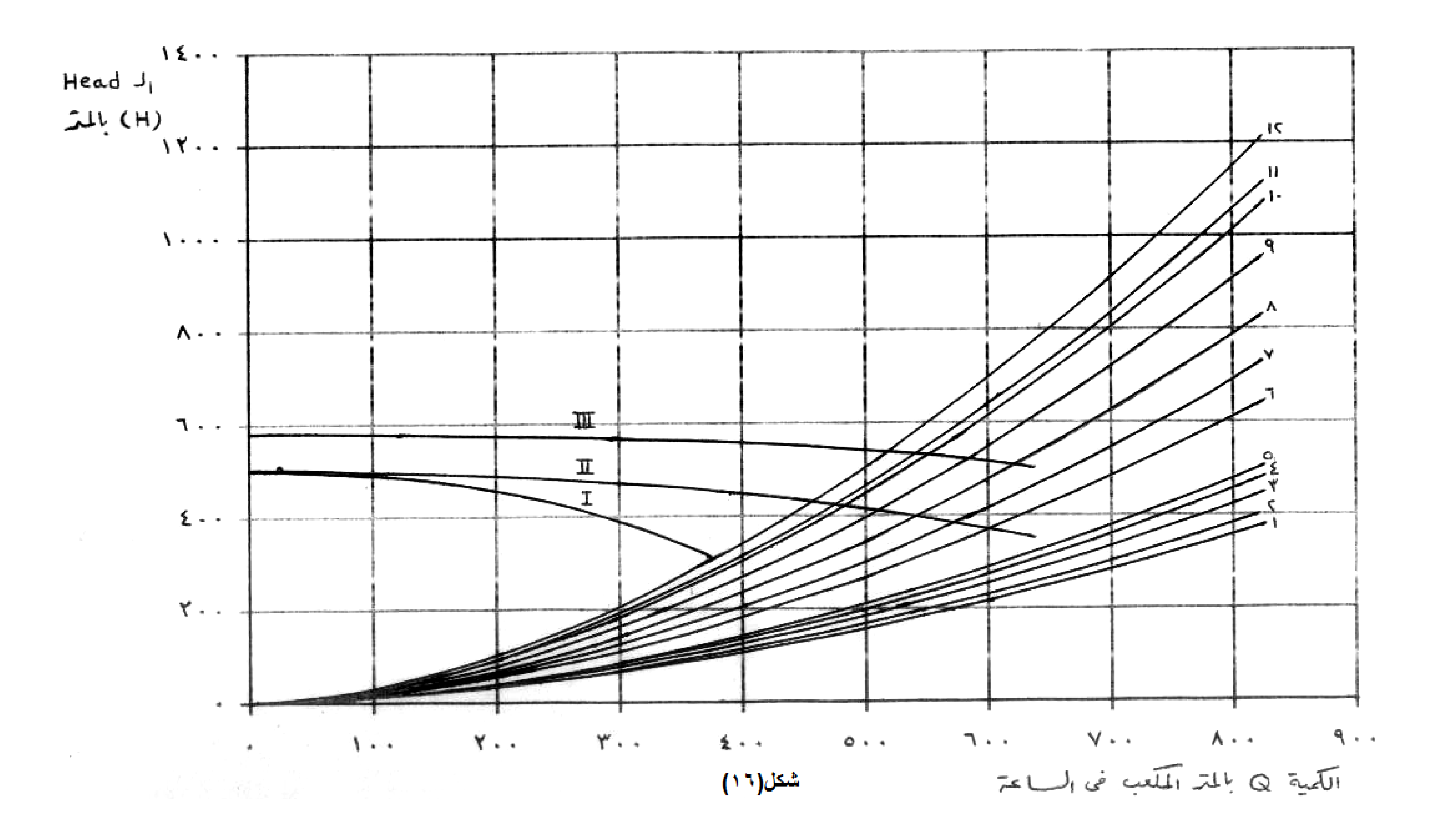
sp.gr : الكثافة النسبية للسائل المنقول بخط الأنابيب(بدون وحدات أو جم/سم٣)

γ : اللزوجة الكينماتيكية للسائل المنقول بخط الأنابيب بالسنتى ستوك

l : طول خط الأنابيب بالكيلومتر

d_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

$(P_1 - P_2)$: فاقد الضغط بين محطة الدفع ومحطة الإستلام أى بين بين النقطتين١ ، ٢ بالبار



Head ال
بالمتر (H)
١٤٠٠
١٢٠٠
١٠٠٠
٨٠٠
٦٠٠
٤٠٠
٢٠٠
٠
١٠٠
٢٠٠
٣٠٠
٤٠٠
٥٠٠
٦٠٠
٧٠٠
٨٠٠
٩٠٠
III
II
I
١٢
١١
١٠
٩
٨
٧
٦
٥
٤
٣
٢
١
الكمية Q بالمتر المكعب في الساعة

شكل(١٦)

	طلمبة مناولة	طلمبة رئيسية من نوع أ	طلمبة رئيسية من نوع ب	طلمبه مناولة مع طلمبة رئيسية من نوع أ (منحنى I)
الكمية(Q) بالمتر^3/ساعة	الـ Head (H) بالمتر	الـ Head (H) بالمتر	الـ Head (H) بالمتر	الـ Head (H) بالمتر
0	116.4	385	464	501.4
50	115.9	382	464	497.9
100	115.4	374	464	489.4
150	114.4	361	462.2	475.4
200	113.3	343.2	461.5	456.5
250	112.3	315.5	460.5	427.8
300	110.8	279	457.8	389.8
318.42	110	263.2	456.4	373.2
350	108.7	231.2	455.2	339.9
370	107.7	211.2	455.2	318.9
376.41	107.4	200	454.2	307.4
400	106.4	.	451.7	.
450	103.7	.	447.3	.
500	100	.	440.5	.
550	96.2	.	433	.
600	91.6	.	423.2	.
636.84	87	.	414.8	.
650	.	.	411.6	.
700	.	.	401.8	.
750	.	.	385.9	.
800	.	.	370	.
850	.	.	353.7	.
900	.	.	331	.

جدول(٨)

طلمبة مناولة مع (طلمبتين رئيسيتين من نوع أ توازى) (منحنى **II**)	(طلمبتين رئيسيتين من نوع أ توازى)	طلمبة مناولة مع طلمبة رئيسية من نوع ب (منحنى **III**)	
الـ Head (H) بالمتر	الـ Head (H) بالمتر	الـ Head (H) بالمتر	الكمية(Q) بالمتر^{3}/ساعة
501.4	385	580.4	0
.	.	579.8	50
497.4	382	579.3	100
.	.	576.6	150
487.3	374	574.8	200
.	.	572.8	250
471.8	361	568.6	300
.	.	566.4	318.42
.	.	563.9	350
.	.	562.9	370
.	.	561.5	376.41
449.6	343.2	558	400
.	.	551	450
415.5	315.5	540.5	500
.	.	529.2	550
370.6	279	514.8	600
350.2	263.2	501.8	636.84
.	.	.	650
.	.	.	700
.	.	.	750
.	.	.	800
.	.	.	850
.	.	.	900

جدول(٩)

* نافتا: قطفة بترولية بين البنزين والكيروسين(مواد خام تستخدم فى صناعة البتروكيماويات)
* متكثفات(Natural Gasoline): أبخرة البنزين التى تتصاعد مع الغاز الطبيعى من جوف الأرض

الباب الرابع

تصميم الخطوط التى تحتوى على أكثر من خط بأقطار مختلفة

* فى كثير من الحالات يتم إنشاء أنظمة لنقل البترول تحتوى على أكثر من خط بأقطار مختلفة مما يستوجب عمل تصور تقريبى للتصميمات الهيدروليكية لهذه الخطوط وهى تعمل معاً إما على التوالى أو على التوازى أو الإثنين معاً

* نظراً لأن مثل هذه التصميمات الهيدروليكية تكون معقدة إلى حد ما وذلك يستوجب تبسيط هذه التصميمات بتوحيد أقطار الخطوط إلى قطر واحد وذلك بتحويل طول الخط الأصلى الموجود أو طول أى عدد من الخطوط الأصلية الموجودة إلى طول مكافئ لخط يمكن الرجوع إليه(خط Reference)

* يعرف(الطول المكافئ Equivalent Length) لواحد كيلومتر من الخط الأصلى الموجود بأنه طول (خط Reference) الذى إذا تعرض لنفس ضغط التشغيل مثل الخط الأصلى يعطى نفس المعدل مثل الخط الأصلى لنفس السائل المنقول ، وهو يساوى

$$\frac{l_{equivalent}\ of\ d_{reference}}{1\,kilometer\ of\ d} = \left(\frac{d_{reference}}{d}\right)^{4.75}$$

(يمكن الرجوع إلى معادلة حساب فاقد الإحتكاك بالباب الأول للتوضيح)

* تعرف(نسبة المعدل Discharge Ratio) بأنها نسبة الكمية المارة بالخط الأصلى الموجود إلى الكمية المارة(بخط Reference) وذلك لنفس الطول وضغط التشغيل ونوع السائل ، وهى تساوى

$$\frac{Q\ of\ d}{Q\ of\ d_{reference}} = \left(\frac{d}{d_{reference}}\right)^{2.714285}$$

* فى حالة وجود عدد٢ خط يتم أولاً تحويلهم إلى خط واحد ذو قطر مكافئ $d_{equivalent}$ لقطر (خط Reference) وذلك لنفس الطول وضغط التشغيل ونوع السائل وبعد إيجاد قيمة $d_{equivalent}$ يتم حساب الطول المكافئ

* بناء على ما سبق تم إستنتاج جدول(١٠) ليوضح الطول المكافئ ونسبة المعدل

* في حالة أفرع الخطوط القصيرة بالمجمع الرئيسى Header لأفرع أنابيب السحب من الخزانات أو طرد الطلمبات ، على سبيل المثال مجمعات بلوف التحكم وما شابه ذلك يكون الفاقد الرئيسى بأفرع الخطوط هو الفاقد الثانوى Mainly Minor Losses وأيضاً يكون فاقد الضغط خلال مجمع بلوف التحكم (البلوف مفتوحة بالكامل) يساوى فاقد الضغط خلال طول محدد من الخط الرئيسى يساوى نفس طول مجمع بلوف التحكم وذلك لإمرار نفس الكمية المطلوبة لنفس نوع السائل ، حيث أن نسبة المعدل Discharge Ratio المار بالخط الفرعى لمجمع بلوف التحكم إلى المعدل المار بالخط الرئيسى تساوى

$$\left(\frac{branch\ d_i}{main\ d_i}\right)^2$$

(يمكن الرجوع إلى معادلة حساب الفواقد الثانوية بالباب الأول للتوضيح)

Reference خط	الخط الأصلى	نسبة المعدل	الطول المكافئ
D_{ref} = 4" STD wt	1- 3"	0.478	3.636
	1- 4"	1	1
	1- 6"	3.041	0.143
	1- 4"& 1- 3"	1.478	0.505
	1- 4" & 1- 6"	4.041	0.087
D_{ref} = 6" STD wt	1 - 4"	0.329	7
	1 - 6"	1	1
	1 - 8"	2.107	0.271
	1 - 6" & 1 - 4"	1.329	0.608
	1 - 6" & 1 - 8"	3.107	0.137
D_{ref} = 8" STD wt	1 - 6"	0.475	3.684
	2 - 6"	0.949	1.096
	1 - 8"	1	1
	2 - 8"	2	0.297
	1 - 10"	1.854	0.339
	1 - 12"	3.025	0.144
	1- 8" & 1- 12"	4.025	0.087
D_{ref} = 10" STD wt	1- 6"	0.256	10.856
	1 - 8"	0.539	2.947
	1- 6"&1- 8"	0.795	1.494
	1 – 12"	1.631	0.425
D_{ref} = 12" STD wt	1 - 8"	0.330	6.939
	2 - 8"	0.661	2.064
	3 - 8"	0.991	1.015
	4 - 8"	1.322	0.613
	1 - 10"	0.613	2.355
	1 - 12"	1	1
	2 - 12"	2	0.297
	1 - 14"	1.309	0.625
	1 - 16"	1.917	0.320
	1 - 18"	2.678	0.178
	1 - 12" & 1 - 8"	1.330	0.607
	1 - 12" & 2 - 8"	1.661	0.411
	1 - 12" & 1- 16"	2.917	0.154
	1 - 14" & 1 - 8"	1.639	0.421
	1 - 16" & 1 - 8"	2.247	0.242

جدول(١٠)

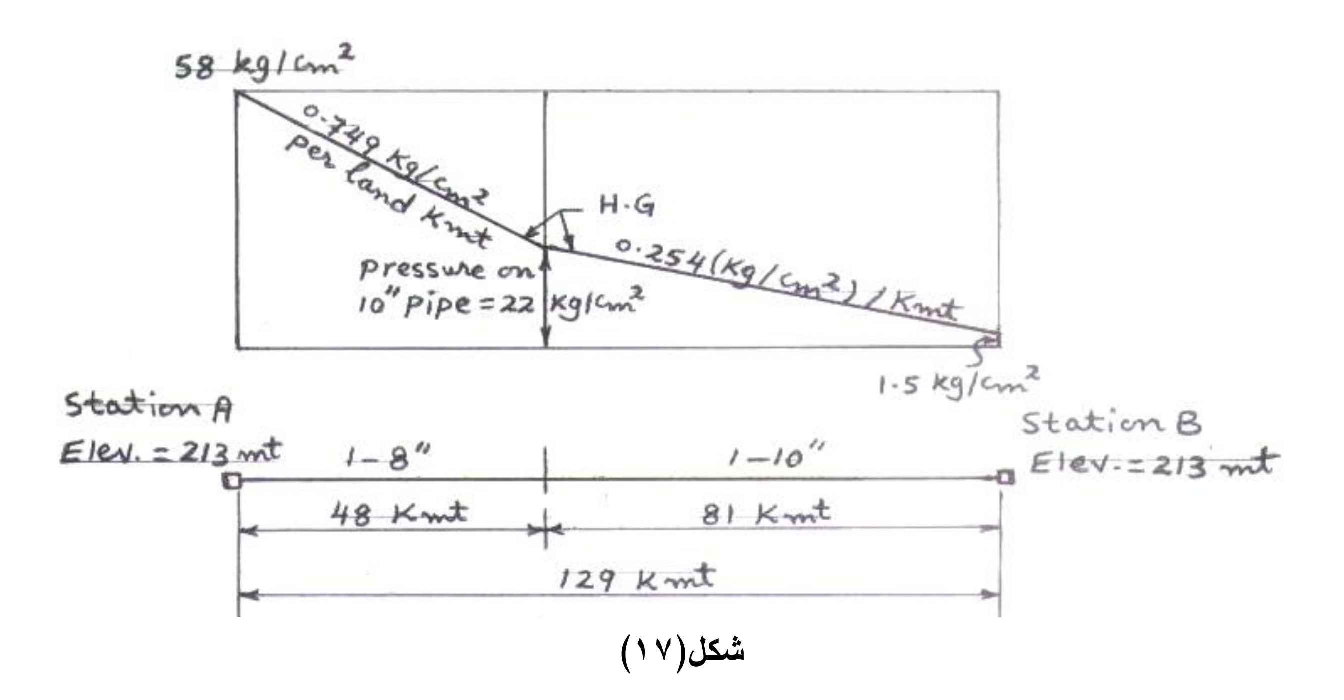
Reference خط	الخط الأصلى	نسبة المعدل	الطول المكافئ
D_{ref} = 16" STD wt	1 - 12"	0.522	3.122
	1 - 14"	0.683	1.950
	1 - 16"	1	1
	1 - 18"	1.397	0.557
D_{ref} = 20" STD wt	1 - 22"	1.308	0.625
	1 - 20"&1-22"	2.308	0.231
D_{ref} = 36" STD wt	1 - 10"	0.033	393.445
	1 - 16"	0.103	53.515
	2 - 16"	0.206	15.911
	3 - 16"	0.309	7.826
	1 - 24"	0.323	7.219
	2 - 24"	0.646	2.146
	3 - 24"	0.969	1.056
	1 - 10" &3 - 24"	1.002	0.996
	1 - 16" &2 - 24"	0.749	1.657
	1 - 16" &3- 24"	1.072	0.885

تابع جدول(١٠)

تطبيقات على تصميم خطوط الأنابيب التى تحتوى على أكثر من خط بأقطار مختلفة

التطبيق الأول: رسم خط إنحدار الضغط H.G وحساب الكمية(معدل السريان) لخط له أكثر من قطر

مثال ١



شكل(١٧)

المعطيات:

١- ضغط الطرد عند المحطة A = ٥٨ كجم/سم٢ ، ضغط الإستلام عند المحطة B = ١,٥ كجم/سم٢

٢- السائل المنقول زيت كثافته ٠,٨٥ جم/سم٣ ولزوجته ٢٠,٦ سنتى ستوك

٣- الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع ويمكن إهمالها

* يوضح الشكل(١٧) أن الخط يبدأ قطر ٨ بوصة STD wt (Standard Weight) D_i = 7.981" طول ٤٨ كيلومتر ثم يتغير القطر إلى ١٠ بوصة STD wt (D_i = 10.02") طول ٨١ كيلومتر حيث أن الطول الكلى للخط يساوى ١٢٩ كيلومتر

* يمكن الرجوع إلى جدول٥(الباب الثانى) لتحديد سمك مواسير خط الأنابيب وبالتالى حساب القطر الداخلى للخط

* يتم توحيد قطر الخط إلى قطر البداية وهو ٨" وذلك بتحويل طول الخط ١٠" إلى طول مكافئ لخط ٨" ، بالرجوع إلى جدول(١٠) نجد أن ١ كيلومتر من خط ١٠" يكافئ ٠,٣٣٩ كيلومتر من خط ٨" أى أن ٨١ كم من خط ١٠" يكافئ ٨١(٠,٣٣٩) = ٢٧,٤٥٩ كم من خط ٨" وفى هذه الحالة تعمل محطة الضخ A خلال طول مكافئ قدره(٤٨ + ٢٧,٤٥٩) = ٧٥,٤٥٩ كم من خط ٨"

* يكون فاقد الضغط لكل كيلومتر يساوى

$$\frac{58-1.5}{75.459} = 0.749\ (kg/cm^2)/Kmt$$

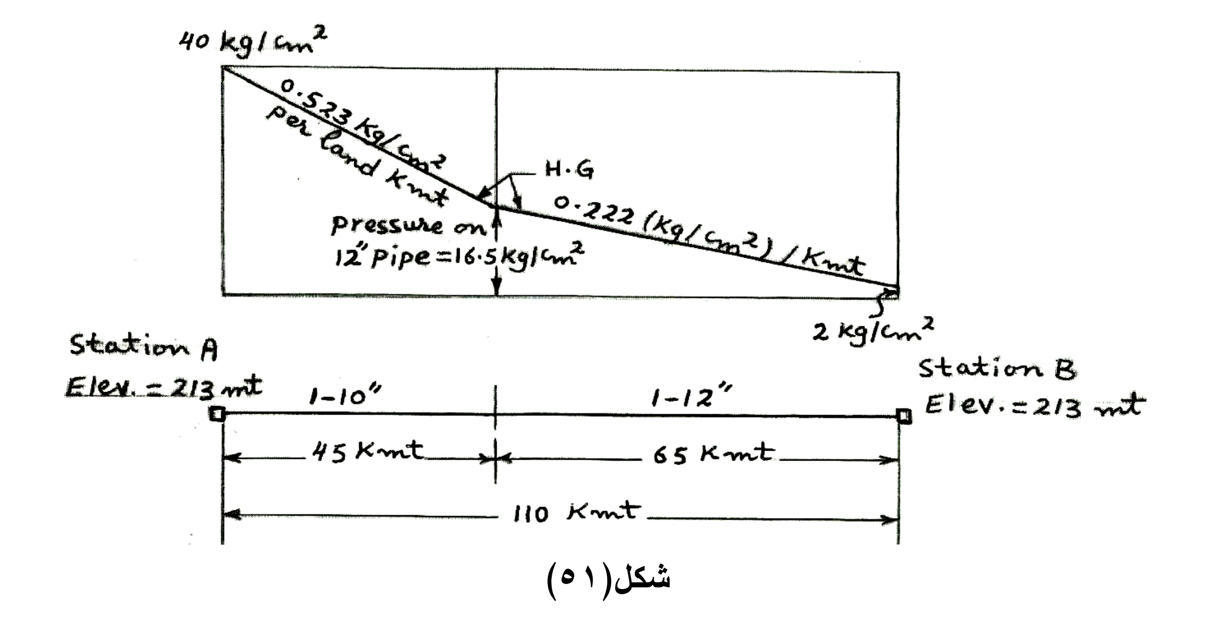
* بتطبيق معادلة حساب فاقدالإحتكاك للسريان المضطرب بالخطوط

$$0.749 \times \frac{10}{0.85} = 17.5425 \frac{20.6^{0.25} Q^{1.75}}{7.981^{4.75}}$$

نجد أن الكمية المنقولة تساوى $Q = 123\ mt^3/hr$

* فاقد الضغط/كيلومتر للخط ١٠" = فاقد الضغط/كيلومتر للخط ٨" × ٠,٣٣٩

مثال٢



شكل(٥١)

المعطيات:

١- ضغط الطرد عند المحطة A = ٤٠ كجم/سم٢ وسوف يزداد مستقبلاً إلى ٦٠ كجم/سم٢ لرفع كفاءة الخط ، ضغط الإستلام عند المحطة B = ٢ كجم/سم٢

٢- السائل المنقول زيت كثافته ٠,٧٥ جم/سم٣ ولزوجته ٢,٩ سنتى ستوك

٣- الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع ويمكن إهمالها

* يوضح الشكل(٥١) أن الخط يبدأ قطر ١٠ بوصة STD wt (Standard Weight) D_i = 10.02" طول ٤٥ كيلومتر ثم يتغير القطر إلى ١٢ بوصة STD wt (D_i = 12") طول ٦٥ كيلومتر

* يمكن الرجوع إلى جدول(٥) بالباب الثانى لتحديد القطر الداخلى للخط

* يتم توحيد قطر الخط إلى قطر البداية وهو ١٠" وذلك بتحويل طول الخط ١٢" إلى طول مكافئ لخط ١٠" ، بالرجوع إلى جدول(١٠) بالباب الرابع نجد أن ٦٥ كم من خط ١٢" يكافئ
٦٥(٠,٤٢٥) = ٢٧,٦٢٥ كم من خط ١٠" وفى هذه الحالة تعمل محطة الضخ A خلال طول مكافئ قدره(٤٥ + ٢٧,٦٢٥) = ٧٢,٦٢٥ كم من خط ١٠" ويكون فاقد الضغط لكل كيلومتر يساوى

$$\frac{40-2}{72.625} = 0.523\,(kg/cm^2)/Kmt$$

* بتطبيق معادلة حساب فاقدالإحتكاك للسريان المضطرب بالخطوط

$$0.523 \times \frac{10}{0.75} = 17.5425\,\frac{2.9^{0.25}\,Q^{1.75}}{10.02^{4.75}}$$

نجد أن الكمية المنقولة تساوى $Q = 264\ mt^3/hr$

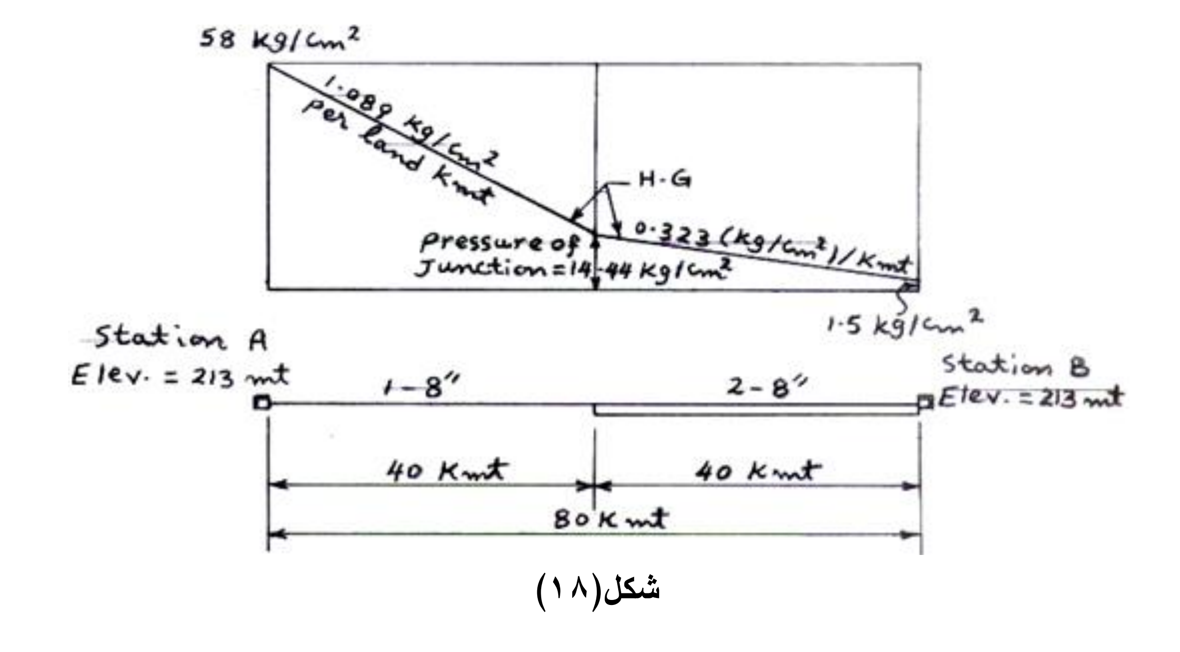
* فاقد الضغط/كيلومتر للخط ١٢" = فاقد الضغط/كيلومتر للخط ١٠" × ٠,٤٢٥

* فى حالة زيادة ضغط الطرد عند المحطة A إلى ٦٠ كجم/سم^2 لرفع كفاءة الخط

$$\frac{(60-2)}{72.625} \times \frac{10}{0.75} = 17.5425\,\frac{2.9^{0.25}\,Q^{1.75}}{10.02^{4.75}}$$

نجد أن الكمية المنقولة تساوى $Q = 336.2\ mt^3/hr$

التطبيق الثانى: رسم خط إنحدار الضغط H.G وحساب الكمية(معدل السريان) لخط بـه جزء من الطول يحتوى على خطين متوازيين(Loop)



شكل(١٨)

المعطيات:

١- ضغط الطرد عند المحطة A = ٥٨ كجم/سم٢ ، ضغط الإستلام عند المحطة B = ١,٥ كجم/سم٢

٢- السائل المنقول زيت كثافته ٠,٨٥ جم/سم٣ ولزوجته ٢٠,٦ سنتى ستوكس

٣- الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع ويمكن إهمالها

* يوضح الشكل(١٨) أن الخط يبدأ قطر ٨" STD wt (D_i=7.981") طول ٤٠ كيلومتر ثم يتغير إلى خطين متوازيين(Loop) قطر كل خط ٨" STD wt (D_i = 7.981") طول ٤٠ كيلومتر أيضاً

* يتم توحيد قطر الخط إلى قطر البداية وهو ٨" وذلك بتحويل طول الخطين المتوازيين قطر ٨" إلى طول مكافئ لخط قطره ٨" ، بالرجوع إلى جدول(١٠) نجد أن واحد كيلومتر من خطين ٨" يكافئ ٠,٢٩٧ كيلومتر من خط ٨" أى أن ٤٠ كم من خطين ٨" يكافئ ٤٠(٠,٢٩٧) = ١١,٨٨ كم من خط ٨" مفرد وفى هذه الحالة تعمل محطة الضخ A خلال طول مكافئ قدره(٤٠ + ١١,٨٨) = ٥١,٨٨ كم من خط ٨"

* يكون فاقد الضغط لكل كيلومتر يساوى

$$\frac{58-1.5}{51.88} = 1.089\ (Kg/cm^2)/Kmt$$

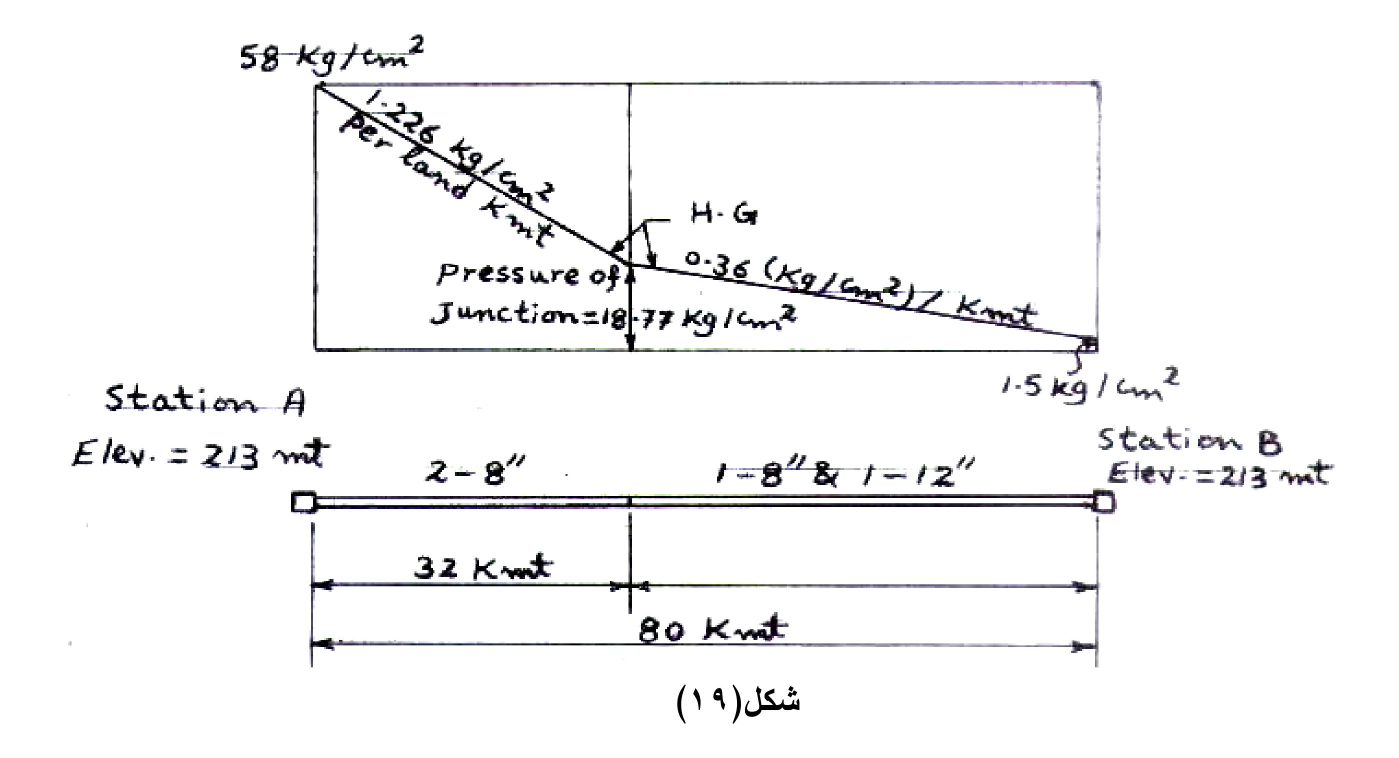
* بتطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك للسريان المضطرب بالخطوط

$$1.089 \times \frac{10}{0.85} = 17.5425 \frac{20.6^{0.25} Q^{1.75}}{7.981^{4.75}}$$

نجد أن الكمية المنقولة تساوى $Q = 152\ mt^3/hr$

* فاقد الضغط/كيلومتر للخطين ٨" = فاقد الضغط/كيلومتر للخط ٨" × ٠,٢٩٧

التطبيق الثالث: رسم خط إنحدار الضغط H.G وحساب الكمية(معدل السريان) لنظام نقل يحتوى على خطين متوازيين مختلفى الأقطار



شكل(١٩)

المعطيات:

* نفس معطيات التطبيق الأول مثال١

* يوضح الشكل(١٩) أن نظام النقل يبدأ خطين متوازيين قطر ٨" طول ٣٢ كيلومتر ثم يتغير إلى خطين متوازيين أقطار ٨" و١٢" طول ٤٨ كيلومتر

* يتم توحيد قطر نظام النقل إلى قطر ١٢" وذلك بتحويل طول كلاً من الخطين المتوازيين قطر ٨" وكذلك أقطار ٨" ، ١٢" إلى طول مكافئ لخط قطره ١٢" wt STD(D_i=12") ، بالرجوع إلى جدول(١٠) نجد أن واحد كيلومتر من خطين ٨" يكافئ ٢,٠٦٤ كيلومتر من خط ١٢" أى أن ٣٢ كم من خطين ٨" يكافئ ٣٢(٢,٠٦٤) = ٦٦,٠٤٨ كم من خط ١٢" مفرد وكذلك نجد أن ١ كيلومتر من خطين أحدهما ٨" والآخر ١٢" يكافئ ٠,٦٠٧ كم من خط ١٢" أى أن ٤٨ كم من خطين ٨" ، ١٢" يكافئ ٤٨(٠,٦٠٧) = ٢٩,١٣٦ كم من خط ١٢" مفرد وفى هذه الحالة تعمل محطة الضخ A خلال طول مكافئ قدره(٦٦,٠٤٨ + ٢٩,١٣٦) = ٩٥,١٤٨ كم من خط ١٢"

* يكون فاقد الضغط لكل كيلومتر يساوى

$$\frac{58-1.5}{95.148} = 0.594\ (kg/cm^2)/Kmt$$

* بتطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك للسريان المضطرب بالخطوط

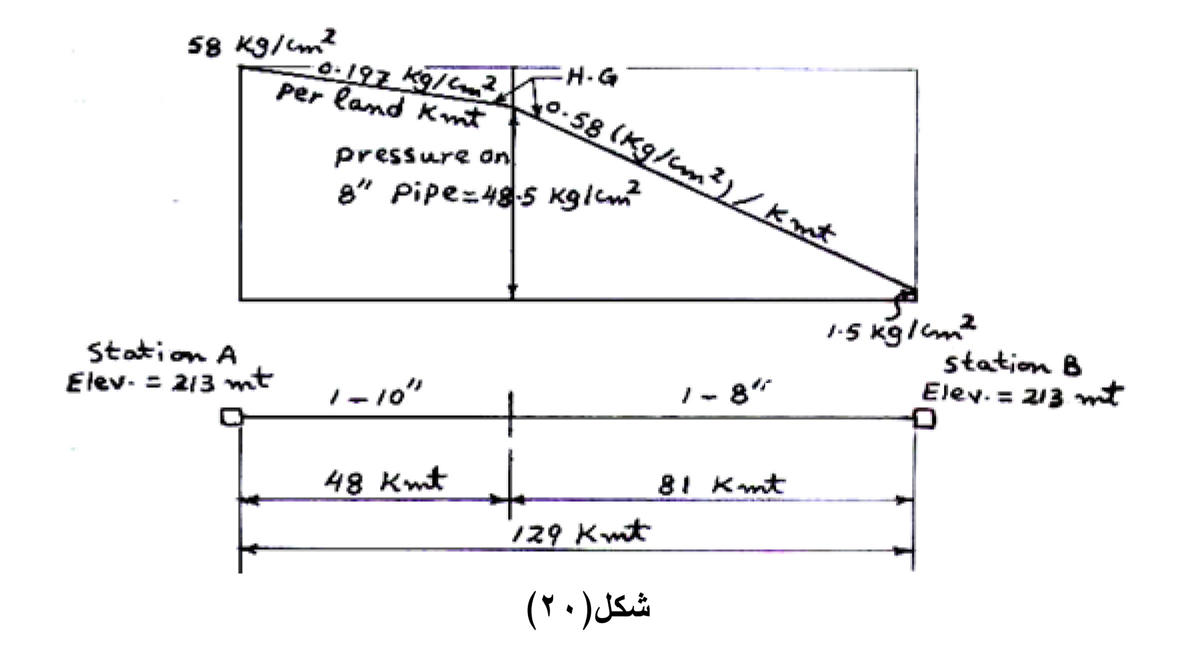
$$0.594 \times \frac{10}{0.85} = 17.5425 \frac{20.6^{0.25} Q^{1.75}}{12^{4.75}}$$

نجد أن الكمية المنقولة تساوى $Q = 326\ mt^3/hr$

* فاقد الضغط/كيلومتر للخطين ٨" = فاقد الضغط/كيلومتر للخط ١٢" × ٢,٠٦٤

* فاقد الضغط/كيلومتر للخطين ٨" ، ١٢" = فاقد الضغط/كيلومتر للخط ١٢" × ٠,٦٠٧

التطبيق الرابع: رسم خط إنحدار الضغط H.G وحساب الكمية(معدل السريان) لخط له أكثر من قطر واحد مع وضع القطر الكبير بمنطقة الضغط العالى والقطر الأصغر بمنطقة الضغط المنخفض على العكس من التطبيق الأول



شكل(٢٠)

المعطيات:

* نفس معطيات التطبيق الأول مثال١

* يوضح الشكل(٢٠) أن الخط يبدأ قطر ١٠" STD wt (D_i =10.02") طول ٤٨ كيلومتر ثم يتغير القطر إلى ٨" Standard Weight (D_i =7.981") طول ٨١ كيلومتر حيث أن الطول الكلى للخط يساوى ١٢٩ كيلومتر

* يتم توحيد قطر الخط إلى قطر البداية وهو ١٠" وذلك بتحويل طول الخط ٨" إلى طول مكافئ لخط ١٠" ، بالرجوع إلى جدول(١٠) نجد أن ١ كيلومتر من خط ٨" يكافئ ٢,٩٤٧ كيلومتر من خط ١٠" أى أن ٨١ كم من خط ٨" يكافئ ٨١(٢,٩٤٧) = ٢٣٨,٧٠٧ كم من خط ١٠" وفى هذه الحالة تعمل محطة الضخ A خلال طول مكافئ قدره(٤٨ + ٢٣٨,٧٠٧) = ٢٨٦,٧٠٧ كم من خط ١٠"

* يكون فاقد الضغط لكل كيلومتر يساوى

$$\frac{58-1.5}{286.707}=0.197\ (kg/cm^2)/Kmt$$

* بتطبيق معادلة حساب فاقد الإحتكاك للسريان المضطرب بالخطوط

$$0.197\times\frac{10}{0.85}=17.5425\frac{20.6^{0.25}Q^{1.75}}{10.02^{4.75}}$$

نجد أن الكمية المنقولة تساوى $Q = 106\ mt^3/hr$

* فاقد الضغط/كيلومتر للخط ٨" = فاقد الضغط/كيلومتر للخط ١٠" × ٢,٩٤٧

* يتضح مما سبق أن المعدل فى التطبيق الأول مثال١($Q = 123\ mt^3/hr$) يزداد عن المعدل فى التطبيق الرابع($Q = 106\ mt^3/hr$) بنسبة ١٥,٦% تقريباً بسبب زيادة طول الخط ذى القطر الأكبر بالتطبيق الأول عن طول الخط ذى القطر الأكبر بالتطبيق الرابع ، حيث أنه لنفس ضغط التشغيل h_f ونوع السائل $sp.gr\ \&\ \gamma$ يكون:

$$\frac{l\,Q^{1.75}}{d^{4.75}}=const.$$

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^{2.714285}\times\left(\frac{l_2}{l_1}\right)^{0.571428}=\left(\frac{7.981}{10.02}\right)^{2.714285}\times\left(\frac{286.707}{75.459}\right)^{0.571428}=1.156$$

* وضع الخط ذى القطر الأكبر بطول معين بمنطقة الضغط المنخفض(عند نهاية الخط) أو وضع نفس الخط ذى القطر الأكبر بنفس الطول بمنطقة الضغط العالى(عند بداية الخط) لا يؤثر على قيمة رفع كفاءة الخط(قيمة رفع المعدل) المعروفة مسبقاً

طرق رفع كفاءة خطوط أنابيب نقل البترول

إذا كان لدينا خط أنابيب موجود بالفعل وينقل كمية معينة من السائل ومطلوب زيادة الكمية المنقولة إلى قيمة محددة (بحيث لا تتعدى سرعة السائل داخل الخط ٣ متر/ثانية) أى مطلوب رفع كفاءة الخط فإن ذلك يتحقق بإحدى الطرق الآتية:

١- إضافة محطات ضخ بينية على طول الخط مع إضافة طلمبات لمحطات الضخ الموجودة

٢- تركيب خط أنابيب إضافى Loop موازى لخط الأنابيب الموجود إما على مدى الطول الكلى للخط الموجود أو على مدى طول محدد من الخط الموجود مع إضافة طلمبات لمحطات الضخ الموجودة

٣- رفع الضغط فى بداية الخط أى عند محطة الضخ (بحيث لا يتعدى ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب) بإضافة طلمبات لمحطة الضخ

<u>تكون الفكرة الأساسية</u> التى بنيت عليها الطريقتين الأولى والثانية لرفع كفاءة خط الأنابيب هى تخفيض طول الخط الطوالى ذى القطر الأصغر من محطة الضخ الأولى (محطة البداية) حتى محطة الإستلام (محطة النهاية) لنفس فاقد الضغط مما يترتب عليه زيادة الكمية المنقولة ويمكن الإسترشاد بالقواعد الهيدروليكية الآتية:

* تخفيض طول الخط بنسبة ٢٥% يرفع المعدل (الكمية) بنسبة ١٧,٨٧%
* تخفيض طول الخط بنسبة ٥٠% يرفع المعدل (الكمية) بنسبة ٤٨,٦%
* تخفيض طول الخط بنسبة ٧٥% يرفع المعدل (الكمية) بنسبة ١٢٠,٨٢%

<u>تكون الفكرة الأساسية</u> التى بنيت عليها الطريقة الثالثة لرفع كفاءة خط الأنابيب هى زيادة فاقد الضغط على طول خط الأنابيب مما يترتب عليه زيادة الكمية المنقولة ويمكن الإسترشاد بالقواعد الهيدروليكية الآتية:

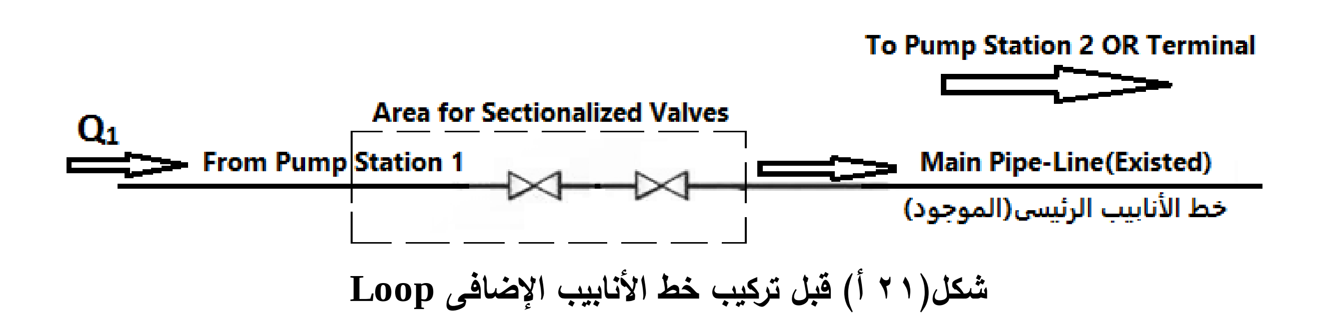
* زيادة المعدل (الكمية المنقولة) أو سرعة السائل بنسبة ٥% يستوجب رفع <u>فاقد الضغط</u> بين عند بداية الخط (محطة الضخ) ومحطة الإستلام بنسبة ٨,٩% (١,٠٨٩ مرة الضغط)
* زيادة المعدل (الكمية المنقولة) أو سرعة السائل بنسبة ٥٠% يستوجب رفع <u>فاقد الضغط</u> بين عند بداية الخط (محطة الضخ) ومحطة الإستلام بنسبة ١٠٣,٣% (٢,٠٣٣ مرة الضغط)

<u>يكون القيد الأساسى لرفع كفاءة خط الأنابيب هو أنه يجب ألا تزيد سرعة السائل داخل الخط عن ٣ متر/ثانية</u>

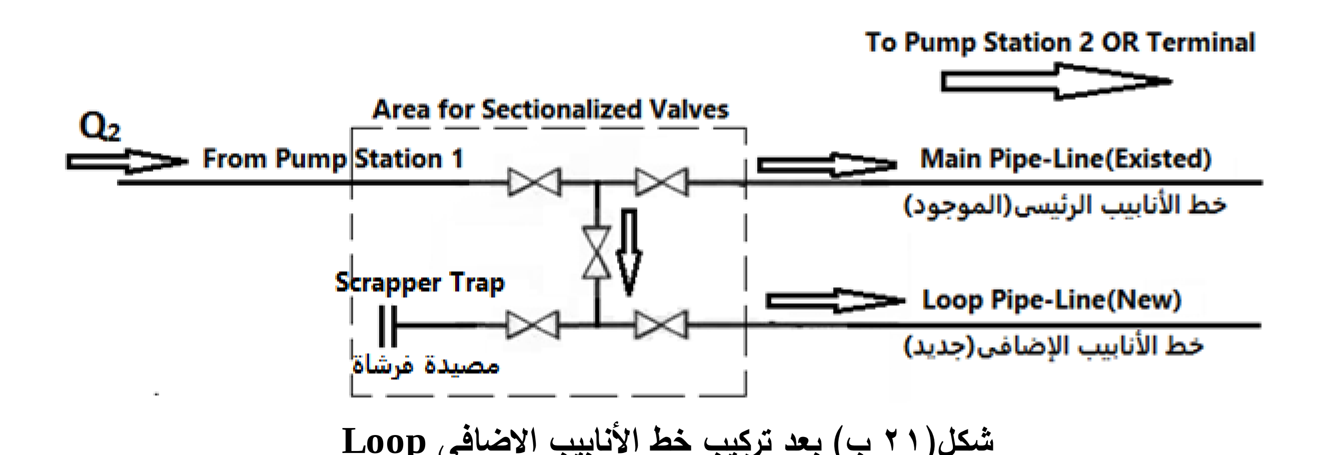
<u>تكون الأفضلية لطرق رفع كفاءة خط الأنابيب هى الطريقة التى تحقق أقل تكلفة نقل للمتر المكعب وكذلك تحقق أقل قيمة (أو قيمة معقولة) لإجمالى المبالغ المستثمرة وذلك بالمقارنة بالطرق الأخرى</u>

رفع كفاءة خط الأنابيب بتركيب خط أنابيب إضافى Loop موازى لخط الانابيب الموجود (معادلة المهندس/حسن وجدى)

تكون الطريقة الثانية لرفع كفاءة خط الأنابيب بتركيب خط أنابيب إضافى Loop موازى لخط الأنابيب الموجود إما على مدى الطول الكلى للخط الموجود أو على مدى طول محدد من الخط الموجود حيث بحمد الله وتوفيقه قمت بإستنتاج معادلة هيدروليكية هامة تربط بين القطر الداخلى لل Loop وطول الـ Loop ونسب الكمية المنقولة (المعدل) بين بعد تركيب الـ Loop وقبل تركيب الـ Loop كما يتضح من الأشكال(٢١ أ ، ب)



شكل(٢١ أ) قبل تركيب خط الأنابيب الإضافى Loop



شكل(٢١ ب) بعد تركيب خط الأنابيب الإضافى Loop

$$D_L = D\left[\frac{1}{\left(1-\frac{A}{A_L}\left(1-\frac{1}{R^{1.75}}\right)\right)^{0.571428}}-1\right]^{0.368421}$$

$$A_L = \frac{A\left(1-\frac{1}{R^{1.75}}\right)}{1-\frac{1}{\left[\left(\frac{D_L}{D}\right)^{2.714285}+1\right]^{1.75}}}$$

D_L : القطر الداخلى لخط الأنابيب الإضافى Loop (بوصة)

D : القطر الداخلى لخط الأنابيب الموجود (بوصة)

A_L : طول خط الأنابيب الإضافى Loop (كيلومتر)

A : طول خط الأنابيب الموجود (كيلومتر)

R : نسبة رفع كفاءة الخط وهى نسبة الكمية المنقولة (المعدل) بعد تركيب الـ Loop وهى Q_2 إلى الكمية المنقولة (المعدل) قبل تركيب الـ Loop وهى Q_1 وتكون هذه النسبة أكبر من ١

* تعتبر هذه المعادلة من المعادلات الهامة التى تمكننا من إستنتاج قطر الـ Loop الذى يرفع الكمية المنقولة بنسبة محددة معروفة مسبقاً خلال خط أنابيب موجود وذلك بإفتراض طول معين للـ Loop

* تمكننا هذه المعادلة من إستنتاج طول الـ Loop الذى يرفع الكمية المنقولة بنسبة محددة معروفة مسبقاً خلال خط أنابيب موجود وذلك بإفتراض قطر معين للـ Loop

* <u>ينبغى أن يكون (قطر خط الأنابيب الإضافى Loop) يساوى أو أكبر من (قطر خط الأنابيب الموجود قبل تركيب الـ Loop)</u>

* فى حالة وجود أكثر من قطر واحد للـ Loop يحقق رفع كفاءة خط الأنابيب بالكمية المطلوبة يتم إختيار قطر الـ Loop الذى يحقق أقل تكلفة نقل للمتر المكعب وأيضاً يحقق أقل قيمة (أو قيمة معقولة) لإجمالى المبالغ المستثمرة لمشروع رفع الكفاءة وذلك بالمقارنة بالأقطار الأخرى

* عند تركيب Loop لها قطر معين وطول معين عند نهاية الخط (بمنطقة الضغط المنخفض) أو عند بداية الخط (بمنطقة الضغط العالى) بنفس القطر والطول فإن قيمة رفع كفاءة الخط تكون ثابتة لم تتغير فى الحالتين

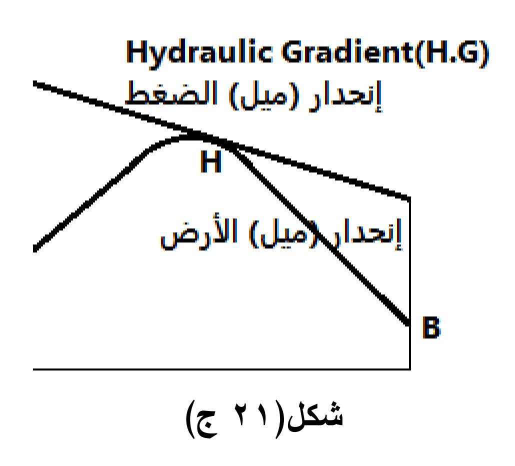
* <u>إختيار أماكن تركيب خطوط الأنابيب الإضافية Loops يتأثر بعدة عوامل:</u>

١- العامل الرئيسى هو قدرة تحمل الأنابيب للضغط

٢- يؤخذ فى الإعتبار الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile بحيث لا ينبغى تركيب Loop بالمناطق التى يكون بها

إنحدار (ميل) الأرض أكبر من إنحدار الضغط Hydraulic Gradient(H.G)

أى لا ينبغى تركيب Loop فى المسافة HB كما يتضح من شكل(٢١ ج)

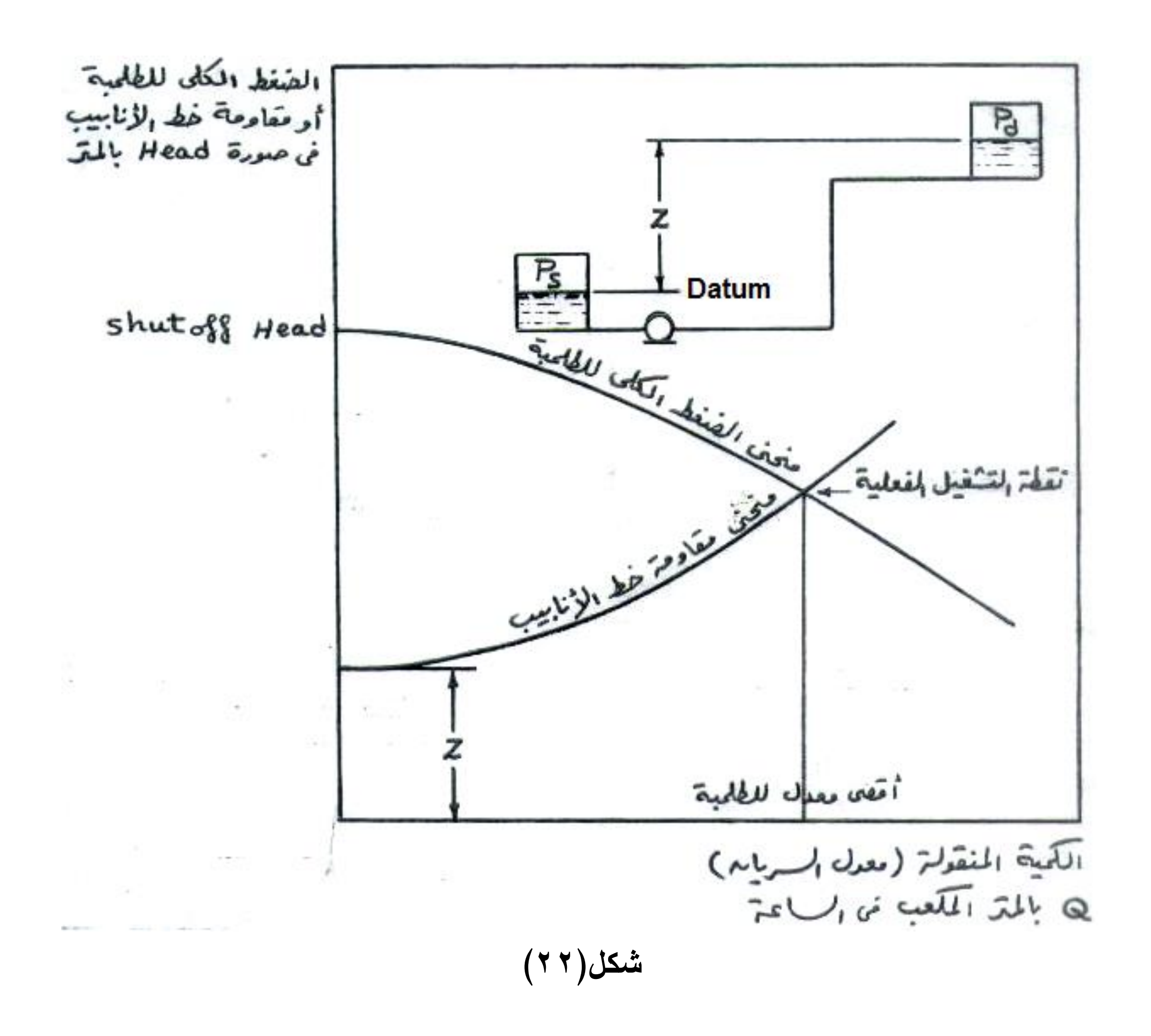


شكل(٢١ ج)

الباب الخامس

المبادئ والنظريات الأساسية المستخدمة فى إختيار الطلمبات

مقاومة خط الأنابيب لسريان السوائل



شكل(٢٢)

* يوضح الشكل(٢٢) أنه لنقل كمية محددة Q من السائل فى خط أنابيب يصل بين خزانين يجب التغلب على مقاومة خط الأنابيب التى تتمثل فيما يلى:

١- فرق المنسوب للسائل بين خزان الطرد وخزان السحب Z

٢- فرق الضغط إن وجد بين عند سطح السائل فى خزان الطرد وعند سطح السائل فى خزان السحب$(P_d - P_s)$

وتعتبر هذه المقاومات ثابتة لا تتغير لحظياً مع الكمية المنقولة

٣- الفاقد الكلى للطاقة h_t بخط الأنابيب(بخطى السحب والطرد) وهو عبارة عن

(فاقد الإحتكاك h_f) و(الفواقد الثانوية h_s)

* مقاومة خط الأنابيب تساوى

$$H = Z + (P_d - P_s)\frac{10}{Sp.gr} + h_t$$

* بإفتراض أن الضغط ثابت عند سطح خزانى الطرد والسحب تكون مقاومة خط الأنابيب H بالمتر

$$H = Z + h_t$$

$$H = Z + h_f + h_s$$

$$H = Z + C_1 Q^{1.75} + C_2 Q^2$$

حيث أن C_1 معامل يساوى $\frac{17.5425\,\gamma^{0.25}\,l}{d_i^{4.75}}$ ، C_2 معامل يساوى $\frac{0.01532\,K}{d_i^{4}}$

* بإدخال الطول المكافئ للفواقد الثانوية ولتسهييل الحسابات تكون مقاومة خط الأنابيب H بالمتر تساوى

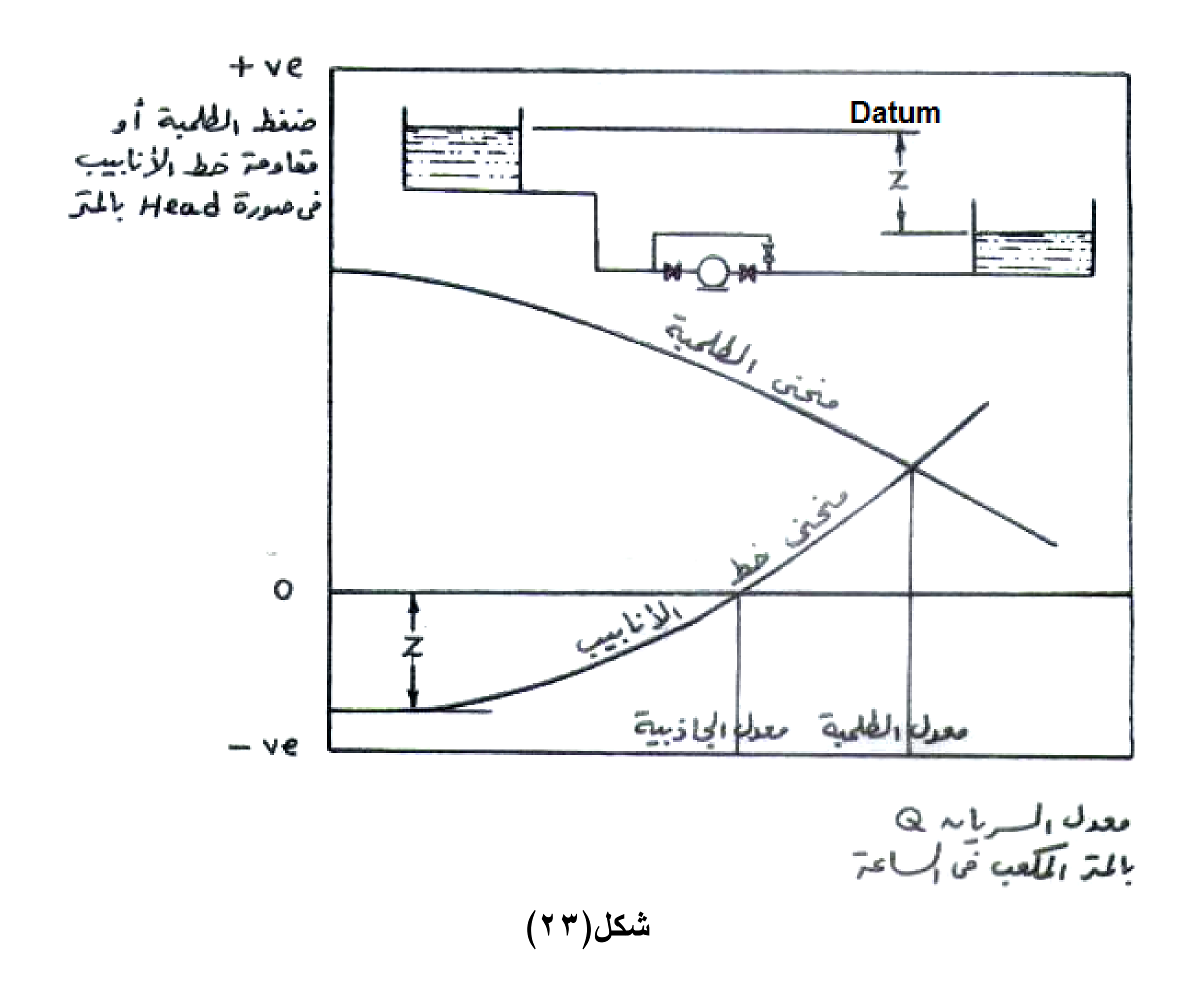
$$H = Z + C\,Q^{1.75}$$

حيث أن C معامل يساوى $\frac{17.5425\,\gamma^{0.25}(l + l_{eq})}{d_i^{4.75}}$

* يعتمد المعامل C أساساً على قطر وطول خط الأنابيب بالبوصة والكيلومتر وذلك فى حالة نقل سائل معين لزوجته γ بالسنتى ستوك

* تمثل المعادلة $H = Z + C\,Q^{1.75}$ منحنى مقاومة خط الأنابيب لسريان السائل Pipe Curve

* كلما زادت الكمية المنقولة بخط الأنابيب زادت مقاومة خط الأنابيب وبالتالى يزداد الضغط الكلى(الطاقة الكلية) المطلوب لنقل هذه الكمية ومن هنا ظهرت الحاجة إلى آلة تقوم بزيادة الضغط الكلى(الطاقة الكلية) للسائل ويطلق على هذه الآلة إسم طلمبة Pump



شكل(٢٣)

* يتضح من شكل(٢٣) أنه نتيجة فرق منسوب محدد بين خزان السحب وخزان الطرد Z لا تتعدى الكمية المنقولة بالجاذبية Gravity Flow قيمة محددة قدرها $\sqrt[1.75]{\frac{Z}{C}}$ لأنبوبة معينة C تصل بين الخزانين وتنقل سائل معين ولزيادة الكمية المنقولة فى هذه الحالة يجب تركيب طلمبة

تصنيف الطلمبات

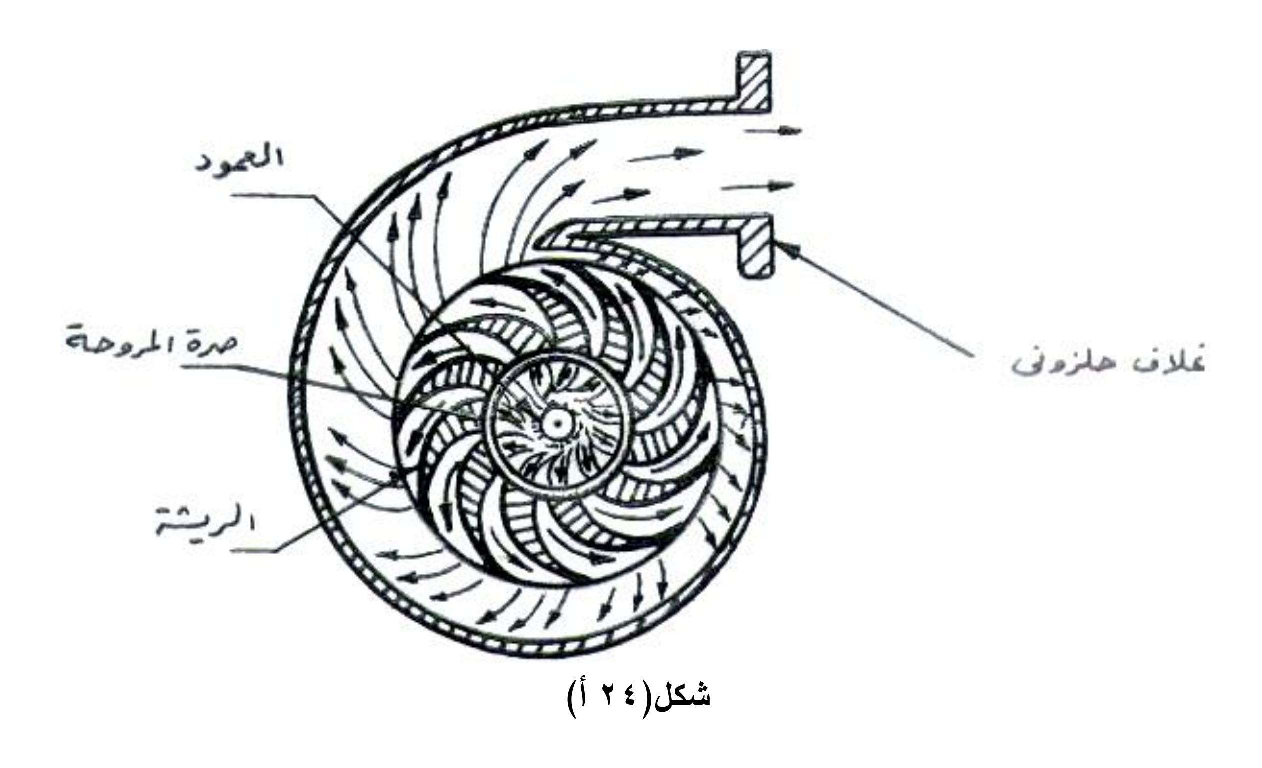
* تصنف الطلمبات من حيث المبدأ الذى به تضاف الطاقة للسائل إلى نوعين رئيسيين هما:

١- الطلمبات الديناميكية Dynamic Pumps

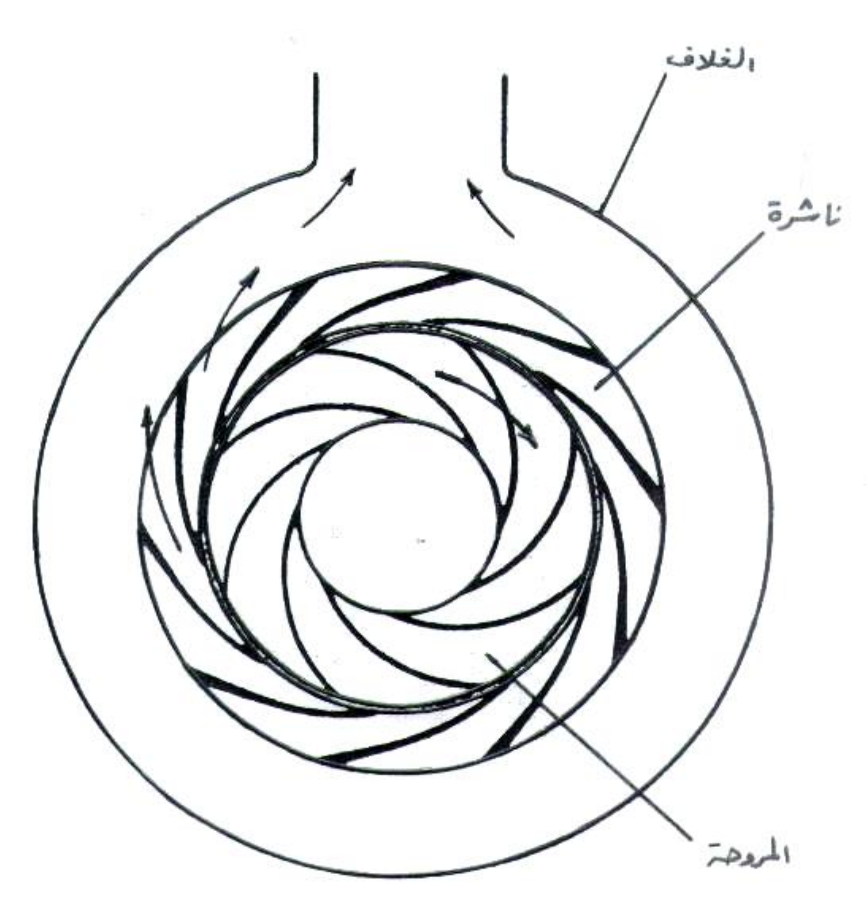
٢- الطلمبات الإيجابية Positive Displacement Pumps

* فى الطلمبات الديناميكية تضاف الطاقة بإستمرار لزيادة الضغط الكلى للسائل(سرعة وضغط السائل) عند مروره خلال جزء ما من الطلمبة يسمى المروحة Impeller ثم تتحول نسبة من السرعة إلى ضغط للسائل عند مروره خلال جزء آخر من الطلمبة يسمى غلاف حلزونى أو ناشرة Volute Casing or Diffuser بحيث تكون سرعة خروج السائل من الطلمبة أكبر من سرعة دخوله إلى الطلمبة (يمكن الرجوع إلى أنبوبة Pitot بالباب الأول للتوضيح)

* النوع الرئيسى لهذه الطلمبات يطلق عليه الطلمبات الطاردة المركزية Centrifugal Pumps نظراً لأن المروحة تعطى السائل قوة طاردة مركزية كما يتضح من شكل(٢٤ أ ، ب)



شكل(٢٤ أ)



شكل(٢٤ ب)

منحنيات أداء الطلمبات الطاردة المركزية

* عند دوران الطلمبة الطاردة المركزية بسرعة ثابتة فإنها تعطى معدلات سريان متغيرة حسب مقاومة خط الأنابيب

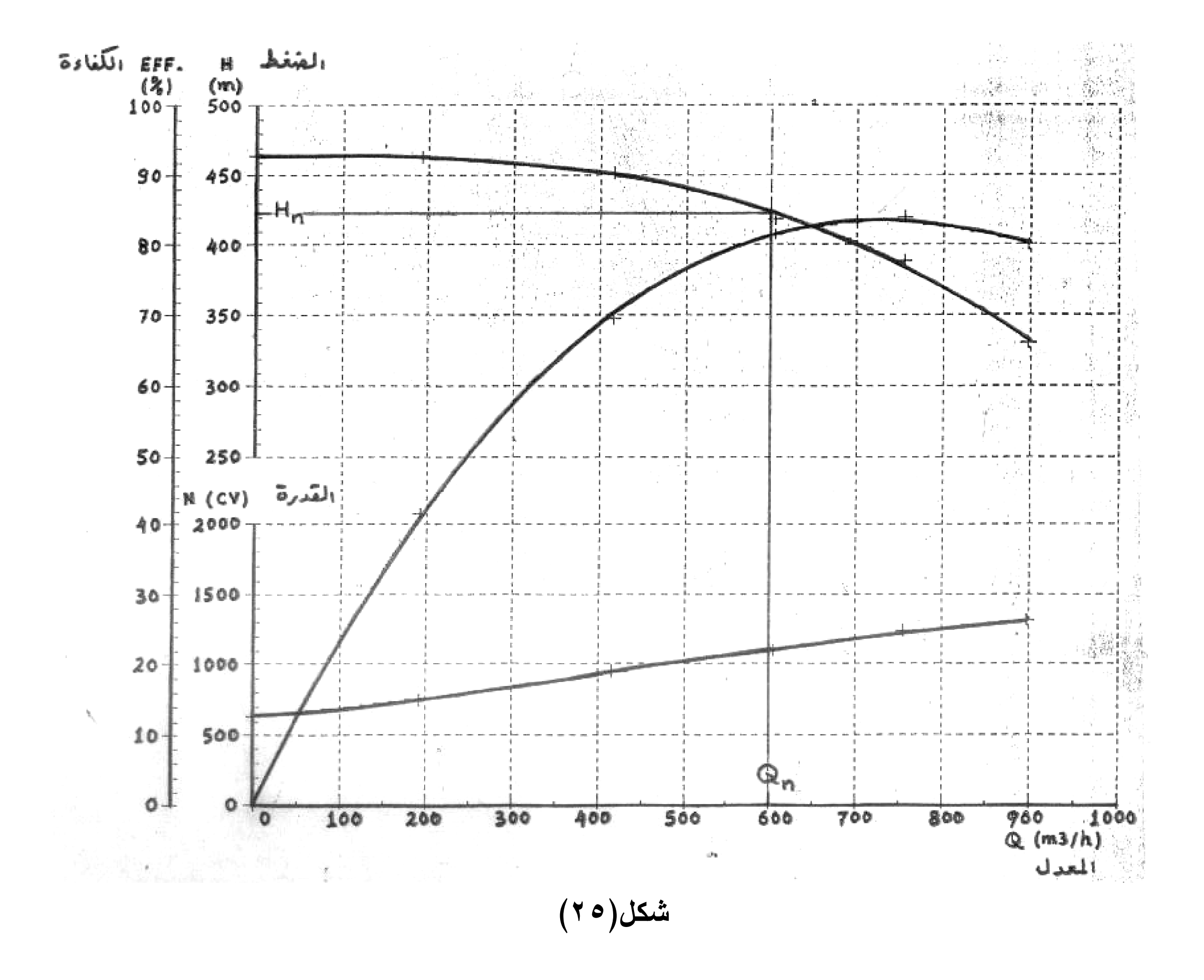
* لذلك يجب تمثيل الضغط(فى صورة Head) ، القدرة ، الكفاءة وأحياناً(Pump NPSH) كدالة من المعدل لسرعة ثابتة ويسمى هذا التمثيل البيانى منحنيات الأداء للطلمبة كما يتضح من شكل(٢٥)

* تصمم الطلمبات لكي تعمل عند نقطة أحسن كفاءة ويطلق على المعدل Flow والـ Head عند نقطة أحسن كفاءة بالقيم التصميمية(العادية) H_n , Q_n وفى معظم الأحيان يطلق على هذه القيم السابقة أداء الطلمبة Pump Performance

* تكون نقطة التشغيل الفعلية(نقطة أقصى معدل) للطلمبة هى نقطة تقاطع منحنى الضغط الكلى للطلمبة Pump curve مع منحنى مقاومة خط الأنابيب Pipe curve كما يتضح من شكل(٢٢) ويجب مراعاة أن تكون نقطة التشغيل الفعلية أقرب ما يمكن من نقطة أحسن كفاءة

* يجب مراعاة عدم تشغيل الطلمبة بمعدل أقل من الحد الأدنى المسموح به حيث تنخفض الكفاءة مما يتسبب فى زيادة الفواقد داخل الطلمبة وبالتالى إرتفاع تكاليف تشغيل الطلمبة وأيضاً قد يظهر حمل زائد على محركات الطلمبات ذات السرعة النوعية العالية(أكبر من ٥٠٠٠ تقريباً) وذلك فى حالة إنخفاض المعدل

* يجب مراعاة عدم تشغيل الطلمبة بمعدل أكبر من الحد الأقصى المسموح به حيث ترتفع قيمة إنخفاض الضغط الديناميكى عند مدخل المروحة الأولى للطلمبة أى ترتفع قيمة NPSH للطلمبة وبالتالى يحدث إنخفاض لضغط السحب ووصوله إلى ضغط البخار للسائل المتداول وحدوث تكهف Cavitation بالطلمبة وأيضاً قد يظهر حمل زائد على محركات الطلمبات ذات السرعة النوعية المنخفضة والمتوسطة (أقل من ٥٠٠٠ تقريباً) وذلك فى حالة إرتفاع المعدل



شكل(٢٥)

خصائص خط الأنابيب وضغط الطلمبة

* يتم إختيار الطلمبة لتنقل كمية محددة خلال خط أنابيب محدد وعند شراء طلمبة يجب تحديد معدل السريان المطلوب والضغط الكلي الضرورى للتغلب على مقاومة خط الأنابيب

* يقاس عادة الضغط الكلى التصميمى(العادى) Rated(عند أحسن كفاءة) من طلمبة طاردة مركزية بالمتر ويقاس عادة فرق الضغط الكلي التصميمى Rated من طلمبة إيجابية بالكجم/سم^2 ويعبر عن كلاً منهما بالكجم. متر لطاقة الطلمبة القادرة على إضافتها لكل كجم من السائل المنقول عند المعدل التصميمى Rated وكلاً منهما يساوى فرق الطاقة بين طرد وسحب الطلمبة

* مسئولية المشترى أن يحسب مقاومة خط الأنابيب حتى يتمكن المورد من الإختيار المناسب للطلمبة

* الحساب الأقل للضغط الكلى المطلوب ينتج عنه أن تعطى الطلمبة الطاردة المركزية كمية أقل من المرغوب فيها خلال خط الأنابيب

* الحساب الأقل لفرق الضغط الكلى اللازم ينتج عنه إستهلاك الطلمبة الإيجابية قدرة أكبر من المحسوبة وربما يزداد أيضاً حد الضغط التصميمى للطلمبة

* لذلك فإن مقاومة خط الأنابيب والتى تعتمد أساساً على خصائص خط الأنابيب تحدد ضغط الطلمبة التصميمى المطلوب

* إذا كان الضغط الكلى التصميمى لطلمبة طاردة مركزية معطى بالمتر فإن هذا الضغط يمكن إعطاؤه لجميع السوائل المنقولة عند المعدل العادى والسرعة العادية Rated بصرف النظر عن الوزن النوعى للسائل على أن تكون لهذه السوائل نفس اللزوجة تقريباً

* الطلمبة التى تتداول سوائل مختلفة لها نفس اللزوجة تقريباً تولد نفس الضغط الكلى بالمتر ولكن لم تعطى نفس فرق الضغط الكلى بالكجم/سم٢ ولا نفس القدرة اللازمة لإدارة الطلمبة وبمعنى آخر فإنه لطلمبة طاردة مركزية ضغطها التصميمى Rated بالكجم/سم٢ يكون لها أن تعطى ضغط تصميمى مختلف لكل سائل له وزن نوعى مختلف وذلك كما يتضح من شكل(٣٠)

كفاءة الطلمبة Pump Efficiency

* تعرف كفاءة الطلمبة بأنها نسبة القدرة التى تعطيها الطلمبة للسائل إلى القدرة الداخلة إلى عمود الطلمبة HP وتسمى الأخيرة عادة قدرة الحصان الفرملية(SHP(Shaft Horsepower

* تكون الكفاءة أقل من ١٠٠% وتتراوح كفاءة الطلمبات الطاردة المركزية الحديثة من ٧٥% إلى ٩٢%

* عند تصميم الطلمبة يجب الإهتمام برفع قيمة الكفاءة وذلك بتقليل الفواقد مما ينتج عنه إنخفاض تكاليف التشغيل

* يفضل تشغيل الطلمبة عند المعدل التصميمى(العادى) Q_n أى عند نقطة أحسن كفاءة حيث أنه عند هذه النقطة تكون الفواقد أقل ما يمكن وبالتالى تكون تكاليف التشغيل أقل ما يمكن

* على سبيل المثال فى حالة رفع كفاءة الطلمبة من ٧٨% إلى ٨٣% تنخفض القدرة الداخلة إلى عمود الطلمبة بنسبة

$$\frac{\eta_2-\eta_1}{\eta_2}\times 100\% = \frac{83-78}{83}\times 100\% = 6\%$$

حيث أن الكفاءة تتناسب عكسياً مع القدرة الداخلة

* عند إختيار الطلمبات تعتبر ظروف الخدمة مقبولة إذا كانت الكفاءة لطلمبة معطاه تختلف عن أحسن كفاءة بحوالى ٧%

* عند المفاضلة بين الطلمبات يتم إختيار الطلمبة التى تحقق أقل قيمة لقدرة التشغيل وكذلك التى تحقق أقل سعر (أو سعر معقول) وذلك بالمقارنة بالطلمبات الأخرى

* يتبين من شكل(٢٥) أن N (CV) تعبر عن Nominal (or rated horsepower)

* يمكن حساب القدرة الداخلة إلى عمود الطلمبة من المعادلة

$$HP\ (Metric) = \frac{sp.gr\, Q_n\, H_n}{270\eta}$$

sp.g : الكثافة النسبية للسائل المتداول بالطلمبة

Q_n : معدل السريان الذى تعطيه الطلمبة عند نقطة أحسن كفاءة بالمتر³/ساعة

H_n : الضغط الكلي فى صورة Head الذى تعطيه الطلمبة عند نقطة أحسن كفاءة بالمتر

η : كفاءة الطلمبة

* لبعض أنواع الطلمبات وخصوصاً الصغيرة يمكن تسهيل الحسابات بإفتراض أن القيمة التقريبية للكفاءة تتراوح بين ٥٠% : ٧٠%(أى فى المتوسط ٦٠%)

مع ملاحظة أن

$$HP\ (Metric) = 75\ kg.mt/sec$$
$$kw = 1.36\ HP\ \ (Metric)$$

* لكى نتلاشى تعرض محرك الطلمبة لأحمال زائدة تنتج من الإنحرافات عن ظروف التشغيل التصميمية فإنه بعد حساب القدرة الداخلة إلى عمود الطلمبة يتم إختيار المحرك بقدرة أكبر من هذه القدرة المحسوبة بمقدار من ١٠% إلى ٥٠% ولذلك يمكن حساب قدرة المحرك اللازم لتدوير الطلمبة من المعادلة

$$HP(Metric) = \frac{sp.gr\, Q_n\, H_n}{270\eta} \times \text{(معامل الحمل الزائد)}$$

(يمكن الرجوع إلى ملخص المعادلات بملحق٥ للتوضيح)

* لبعض أنواع الطلمبات وخصوصاً الصغيرة نسبياً يمكن تسهيل الحسابات بإفتراض أن معامل الحمل الزائد يساوى فى المتوسط ١,٣٠

* الفاقد فى قدرة الطلمبات خلال مجمعات(بلوف التحكم أو أجهزة القياس) أو خلال شبكات الخطوط الداخلية بالمحطات يساوى

$$HP\ (Metric) = \frac{\Delta P_{LOSS}\, Q}{27\eta}$$

ΔP_{LOSS} : فاقد الضغط خلال مجمعات(بلوف التحكم أو أجهزة القياس) أو خلال شبكات الخطوط الداخلية بالمحطات بالكجم/ سم²

Q : معدل السريان بالمتر³/ساعة

η : الكفاءة الكلية للطلمبات أو(كفاءة الطلمبة الواحدة إذا كانت الطلمبات متماثلة) ، وفى بعض الأحوال يمكن إفتراض أنها تساوى ٨٢%

* حيث أن الفاقد فى قدرة الطلمبات خلال(مجمعات بلوف التحكم أو مجمعات أجهزة القياس) أو خلال شبكات الخطوط الداخلية بالمحطات تتناسب طردياً مع كلاً من فاقد الضغط والكمية المنقولة ، وتتناسب عكسياً مع كفاءة الطلمبة (يمكن الرجوع إلى معادلة حساب الفاقد فى قدرة الطلمبات بملحق ٥ للتوضيح)
لذلك نستنتج قاعدة مبدئية هامة وهى:

١- أن تكون الطلمبات التى تنقل كميات صغيرة ويتم تشغيلها بصورة متقطعة طوال العام من النوع الرخيص ذى الكفاءة المنخفضة حتى وإن كان فاقد الضغط كبير نسبياً خلال(مجمعات بلوف التحكم أو مجمعات أجهزة القياس) أو خلال شبكات الخطوط الداخلية بالمحطات وذلك نظراً لصغر قيمة الفاقد فى قدرة الطلمبات لهذه الحالة

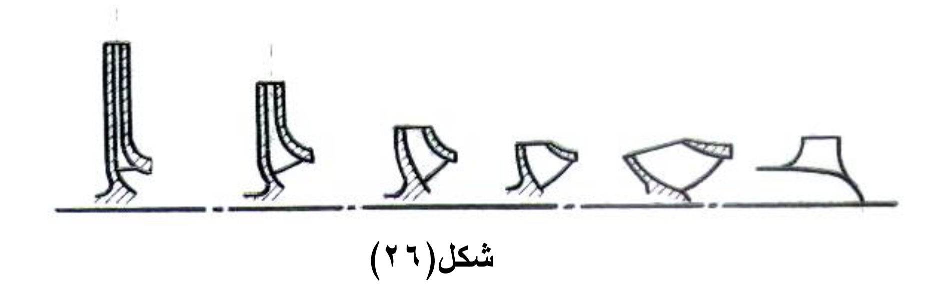
٢- أما الطلمبات التى تنقل كميات كبيرة ويتم تشغيلها بصورة شبه مستمرة طوال العام يجب أن تكون لها كفاءة مرتفعة حتى لو إضطررنا إلى زيادة التكلفة لإدخال بعض التعديلات بشبكة الخطوط التى تعمل بها هذه الطلمبات حيث يجب تخفيض قيمة فاقد الضغط إلى أقل ما يمكن خلال(مجمعات بلوف التحكم أو مجمعات أجهزة القياس) أو خلال شبكات الخطوط الداخلية بالمحطات وذلك نظراً لزيادة قيمة الفاقد فى قدرة الطلمبات لهذه الحالة (يمكن الرجوع إلى تطبيق٢ بملحق٤ للتوضيح)

السرعة النوعية للمروحة Impeller Specific Speed (n_s)

* تستخدم الشركات المنتجة للطلمبات الطاردة المركزية مقدار بعدى لتصنيف الشكل الهندسى وخصائص الأداء للمراوح ويطلق عليه السرعة النوعية للمروحة n_s وهى تربط بين سرعة الدوران n (rpm) ، الضغط المانومترى H (mt) ومعدل السريان Q (m^3/hr) للمروحة عند نقطة أحسن كفاءة ، أى تساوى

$$n_s = 0.8607\, n \frac{\sqrt{Q}}{H^{0.75}} \times \sqrt{sp.gr}$$

* إذا كانت المروحة مزدوجة المدخل Double Suction Impeller بمعنى أنها مروحتين على التوازى إستخدم $\frac{Q}{2}$ فى المعادلة السابقة وأيضاً فى الطلمبة المتعددة المراحل Multi-Stage Pump إستخدم ضغط المرحلة الواحدة فى المعادلة السابقة وهو يساوى تقريباً الضغط الكلى للطلمبة مقسوماً على عدد المراحل



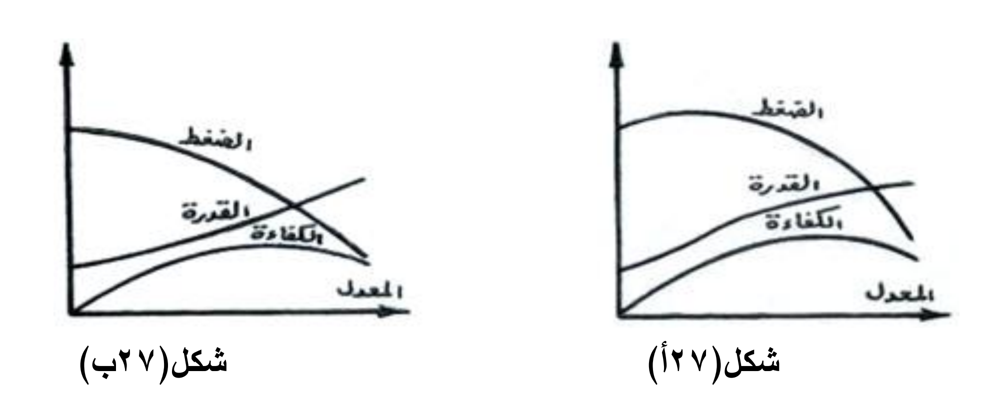
شكل(٢٦)

يوضح شكل(٢٦) أشكال نوعية المروحة المقابلة تقريباً للسرعات النوعية الموضحة وقد يتضح الآتى:

* يوجد حد أدنى للسرعة النوعية يجب ألا نتعداه لأن الكفاءة تقل لدرجة تجعل الطلمبة غير مفيدة للإستخدام ويمكن إعتبار أن قيمة الحد الأدنى للسرعة النوعية للمروحة تكون فى حدود ٥٠٠

* فى حالة أن يكون الـ Head المطلوب مرتفع جداً بحيث تكون السرعة النوعية منخفضة كثيراً عن حدها الأدنى يتم تقسيم الـ Head على عدد من المراحل ومن هنا كانت الطلمبة متعددة المراحل أعلى كفاءة مما لو إستخدمت طلمبة بمرحلة واحدة

تأثير السرعة النوعية للمروحة على منحنيات أداء الطلمبات الطاردة المركزية



شكل(٢٧أ) **شكل(٢٧ب)**

* يتضح من الأشكال(٢٧أ، **ب**) أن الطلمبات ذات السرعة النوعية المنخفضة والمتوسطة(أقل من ٥٠٠٠ تقريباً) لها خصائص بدء تشغيل مفضلة وهى:

١- ضغط الطلمبة عند إنعدام معدل السريان أكبر بقيمة صغيرة نسبياً من ضغطها عند المعدل العادى(عند نقطة أحسن كفاءة)

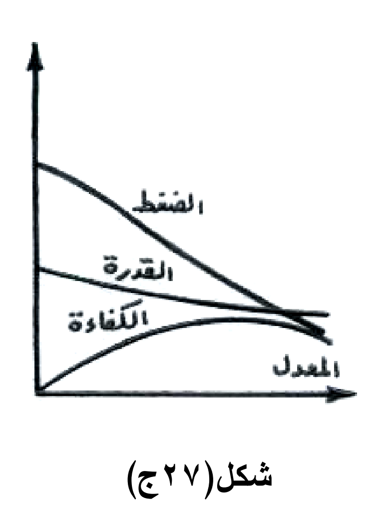
٢- القدرة عند إنعدام معدل السريان أقل من القدرة عند معدل السريان العادى أى تكون للقدرة الحد الأدنى

* لذلك يمكن تشغيل هذه الطلمبة فترة زمنية معينة قبل فتح بلف الطرد(حيث أن هذه الفترة الزمنية تعتمد على معدل إرتفاع درجة حرارة غلاف الطلمبة Casing حتى الوصول إلى أقصى درجة حرارة آمنة يتحملها معدن غلاف الطلمبة)

* يجب مراعاة أن يكون بلف الطرد مغلق عند بداية تشغيل هذه الطلمبات حتى لا يتعرض المحرك لحمل كبير مفاجئ

* يمكن تغيير المعدل بالخنق على بلف الطرد حيث يقل المعدل والقدرة الداخلة بزيادة الضغط

* لمثل هذه الطلمبات يزداد المعدل والقدرة الداخلة بتخفيض الضغط لذلك يحتمل أن يظهر حمل زائد Overload على محركات مثل هذه الطلمبات إذا إنخفض الضغط إلى أقل من قيمة أدنى آمنة



شكل(٢٧ج)

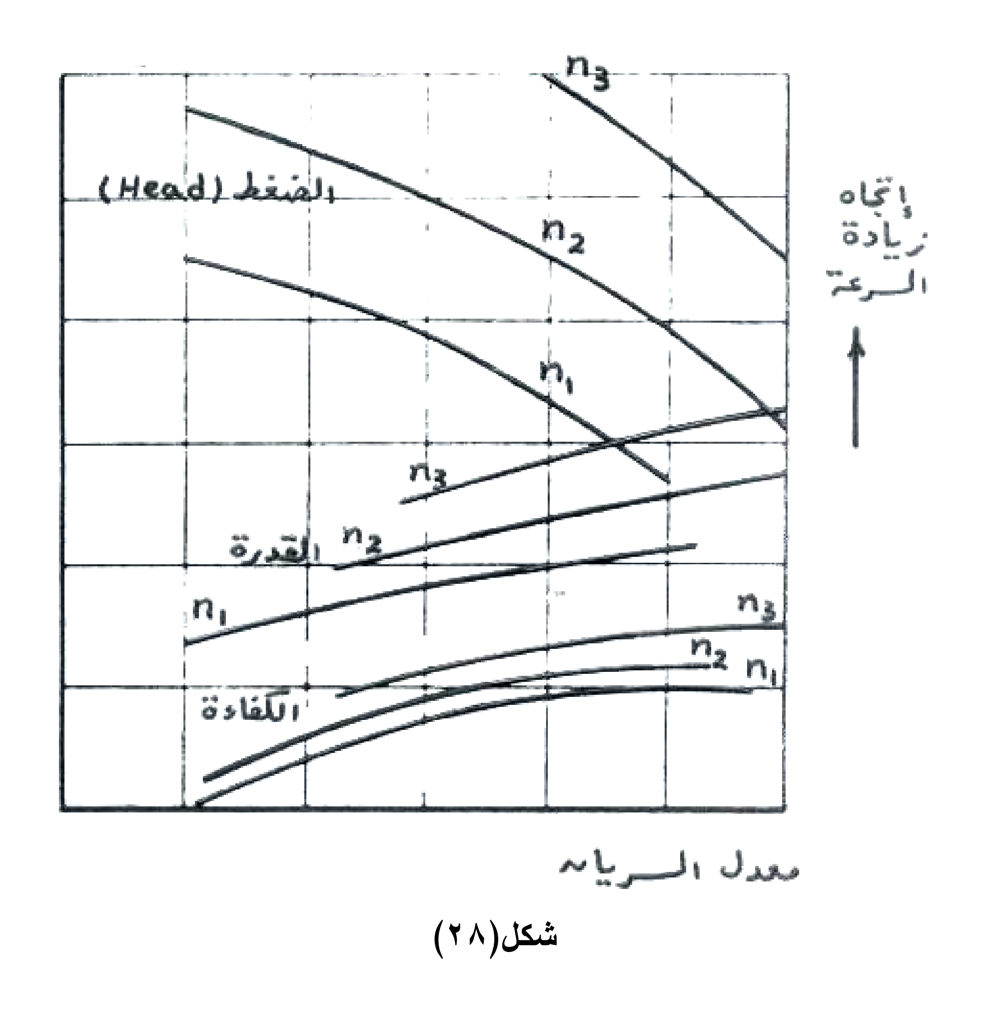
* يتضح من شكل(٢٧ج) أن الطلمبات ذات السرعة النوعية العالية(أكبر من ٥٠٠٠ تقريباً) تنشئ ضغوط عالية نسبياً عند إنعدام معدل السريان

* تكون القدرة عند إنعدام معدل السريان أكبر من القدرة عند معدل السريان العادى(عند نقطة أحسن كفاءة) أى تكون للقدرة الحد الأقصى

* لذلك فإن هذه الطلمبات تتطلب إهتمام خاص أثناء فترة بداية التشغيل حيث أنه من الخطورة تشغيل هذه الطلمبة لفترة زمنية طويلة وبلف الطرد مغلق لأنه قد يؤدى إلى إحتراق المحرك

* ينخفض المعدل ولكن تزداد القدرة الداخلة لهذه الطلمبات بزيادة الضغط لذلك ينبغى أن تكون محركات هذه الطلمبات قادرة على مقابلة زيادة الحمل المحتملة أو تجهز هذه المحركات بحماية مناسبة ضد زيادة الحمل

تأثير سرعة الدوران والقطر الخارجى للمروحة على منحنيات أداء الطلمبات الطاردة المركزية



شكل(٢٨)

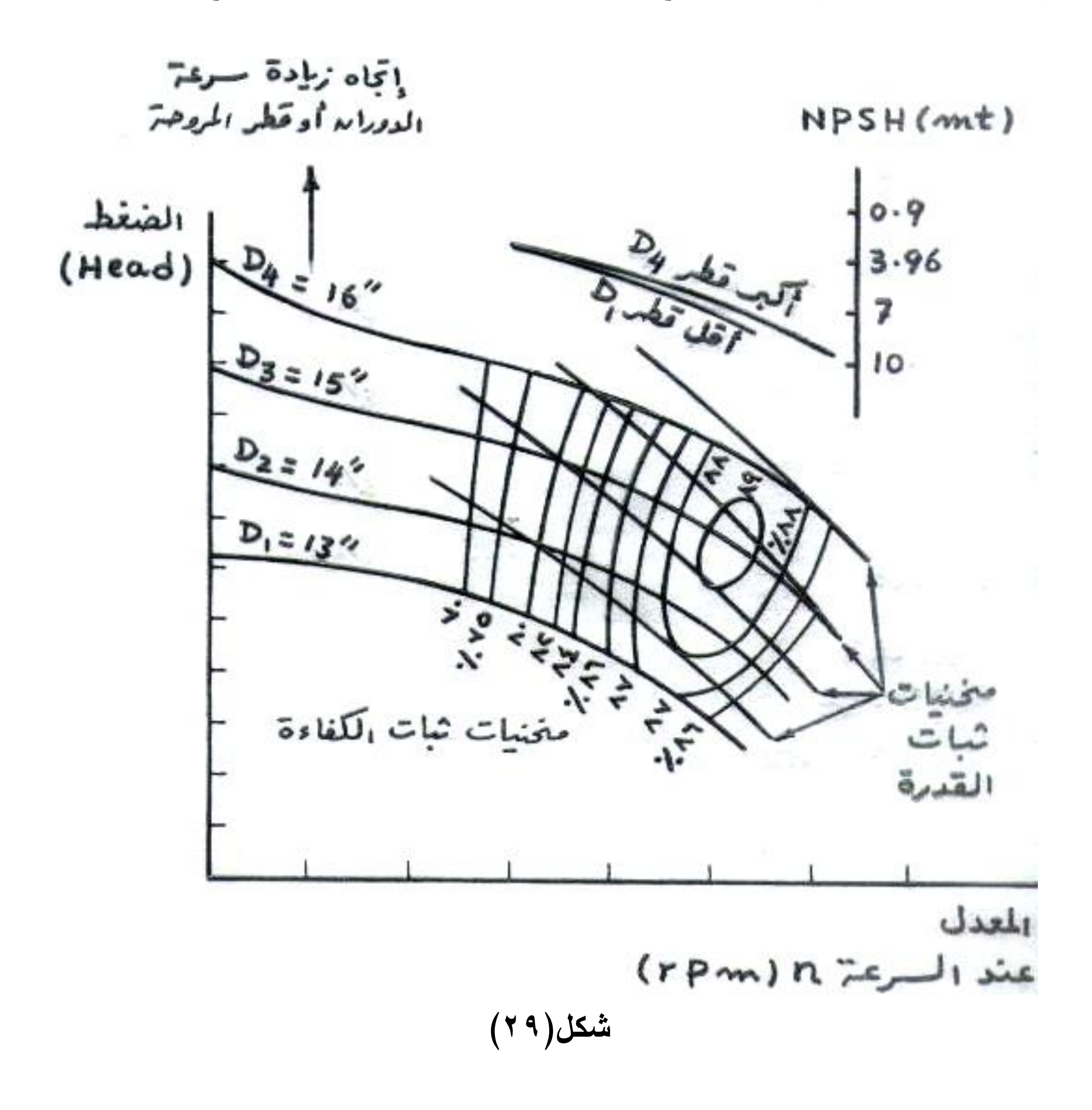
* يمكن إستنتاج منحنى أداء الطلمبة عند السرعة n_2 من منحنى أداء نفس الطلمبة عند السرعة n_1 وذلك من العلاقات التقريبية الآتية:

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1}{n_2} \quad , \quad \frac{H_1}{H_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \& \quad \frac{HP_1}{HP_2}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

* يوضح شكل(٢٨) منحنيات تغير الضغط ، القدرة والكفاءة مع معدل السريان عند سرعات مختلفة ويمكن تجميع هذه المنحنيات فى خريطة موحدة تمثل أداء الطلمبة عند سرعات مختلفة(أو أقطار مختلفة للمروحة) وتضم هذه الخريطة مجموعة منحنيات ذات الكفاءة الثابتة وأيضاً مجموعة منحنيات ذات القدرة الثابتة كما بالشكل(٢٩) ويتم ذلك من الشكل(٢٨) بإختيار أى قيمة معينة للكفاءة أو القدرة وتوقيع ما يقابلها من قيم المعدل والضغط عند جميع السرعات فنحصل على منحنى له كفاءة ثابتة معينة أو قدرة ثابتة معينة ونكرر هذا العمل بإختيار قيمة معينة أخرى للكفاءة أو القدرة ... وهكذا حتى نحصل على الشكل(٢٩)

* يمكن تحقيق متطلبات التشغيل المختلفة(الكميات والضغوط) بتغيير سرعة الدوران للطلمبة

* الأرقام الموضحة بالشكل(٢٩) للتوضيح فقط ولا يعتمد عليها للوصول إلى نتائج دقيقة



شكل(٢٩)

* يمكن إستنتاج منحنى أداء طلمبة قطر المروحة الخارجى لها D_2 من منحنى أداء نفس الطلمبة عندما يكون قطر المروحة الخارجى لها D_1 وذلك من العلاقات التقريبية الآتية:

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{n_1 D_1}{n_2 D_2} \quad , \frac{H_1}{H_2}=\frac{{n_1}^2 {D^2}_1}{{n_2}^2 {D^2}_2} \quad \& \quad \frac{HP_1}{HP_2}=\frac{{n_1}^3 {D^3}_1}{{n_2}^3 {D^3}_2}$$

والتى <u>تطبق فقط لمروحة معطاه متغيرة القطر لها كفاءة ثابتة</u> وليس لمجموعات المراوح المتماثلة هندسياً ولنفس سرعة الدوران نجد أن

$$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{D_1}{D_2} \quad , \quad \frac{H_1}{H_2}=\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad \& \quad \frac{HP_1}{HP_2}=\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$$

* يتضح من شكل(٢٩) أن تأثير زيادة قطر المروحة لنفس السرعة على منحنيات الأداء يعادل تأثير زيادة سرعة الدوران

* يمكن تحقيق متطلبات التشغيل المختلفة(الكميات والضغوط) بتغيير القطر الخارجى لكلاً من مراوح الطلمبات التى لها ريش نصف قطرية Radial-Vane ومراوح الطلمبات ذات الإتجاه المختلط للسريان Mixed-Flow

* فى المراوح ذات الإتجاه المختلط للسريان يستخدم فى الحسابات القطر المتوسط $D_m = \sqrt{\left(D_o^{\,2} + D_i^{\,2}\right)/2}$ بدلاً من القطر الخارجى

* مراوح الطلمبات المروحية Axial-Flow لم تتعرض عادة لتخفيض القطر

تأثير لزوجة وكثافة السائل على منحنيات أداء الطلمبات الطاردة المركزية

* ينبغى إختيار الطلمبة لكى تحقق حالات الخدمة اللزجة وفى معظم الأحوال تستخدم الطلمبات الطاردة المركزية لتداول السوائل التى لزوجتها أقل من ١١٠ سنتى ستوكس

* يكون التأثير المباشر لتغير اللزوجة على أداء الطلمبة قليل ويصعب ملاحظته وذلك للسوائل التى لزوجتها فى حدود ١٣ سنتى ستوكس فأقل

* للسوائل التى لزوجتها أعلى من ٢١ سنتى ستوكس يتضح تماماً تأثير اللزوجة على أداء الطلمبة مما يتسبب فى إنخفاض الـ Head وإنخفاض الكفاءة وإرتفاع قدرة تشغيل الطلمبة وذلك لمعدل سريان محدد

* يوضح شكل(٣٠) أنه عند تغير اللزوجة من القيم المتوسطة إلى القيم العالية يؤدى ذلك إلى إنخفاض ملحوظ فى معدل السريان والضغط وإنخفاض بسيط للكفاءة وكذلك إرتفاع قدرة تشغيل الطلمبة(لم يوضح بالشكل ٣٠ لعدم تداخل تأثير اللزوجة مع تأثير الكثافة على منحنى القدرة) حيث أن الضغط الكلى للطلمبة عند إنعدام معدل السريان Shut off Head يظل ثابت ولا يتأثر بتغير اللزوجة

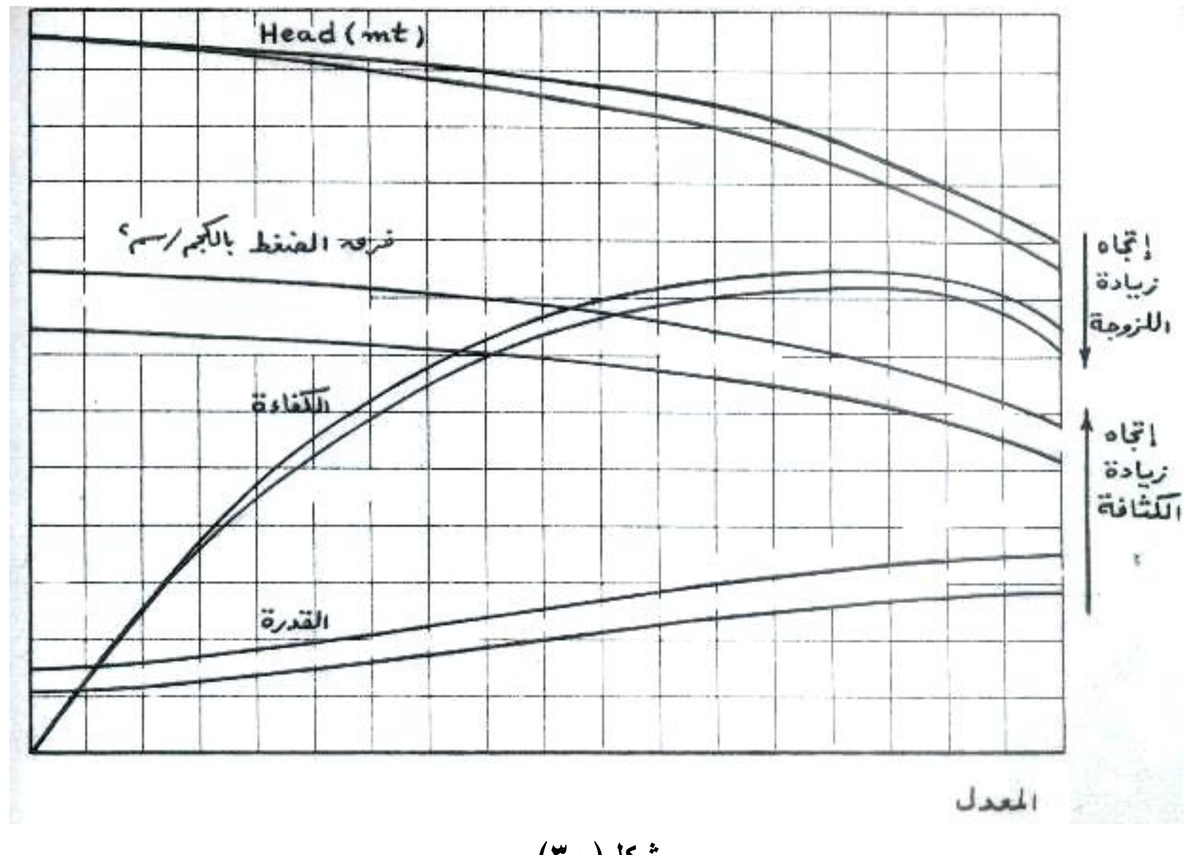
* يفضل استخدام الطلمبات الدوارة ، ذات الإزاحة الموجبة

(Rotary , Positive Displacement Pumps)

فى حالة تداول السوائل التى لزوجتها أكبر من ١١٠ سنتى ستوكس وذلك للحصول على أحسن كفاءة بإنخفاض قدرة تشغيل الطلمبة وبالتالى إنخفاض(تكاليف إستهلاك الطاقة لتشغيل خط الأنابيب والتى تمثل ما يقرب من ٥٠% من إجمالى تكاليف التشغيل) وأيضاً تخفيض التكاليف الأولية(الثمن الأساسى للطلمبات)

* لا يوجد أى تأثير للكثافة على منحنيات الأداء Performance Curves للطلمبات الطاردة المركزية إلا على منحنى الضغط وقدرة التشغيل للطلمبة وذلك فى حالة ثبات أو تقارب قيم اللزوجة حيث أنه يزداد ضغط الطرد وتزداد قدرة التشغيل بزيادة الكثافة النسبية للسائل والعكس

* الضغط على منحنى السائل المتداول بواسطة الطلمبة يساوى الضغط على منحنى المياه المتداولة بواسطة الطلمبة مضروباً فى الكثافة النسبية للسائل



شكل(٣٠)

ظاهرة التكهف Cavitation فى الطلمبات

* يطلق إسم التكهف Cavitation على ظاهرة التكوين والإنهيار اللاحق للفجوات المليئة بالبخار فى سائل

* تتكون الفجوات المليئة بالبخار فى سائل نتيجة الدوامات بسبب الحركة الدورانية للسائل: بالتأثير الديناميكى Dynamic Effect(دوران مروحة الطلمبة) أو بالتأثير الفيزيائى Physical Effect(الدوران الطبيعى للسائل)

* يحتمل أن تكون هذه الفجوات عبارة عن فقاعات ، جيوب مليئة بالبخار أو الإثنين معاً

* لكى يبدأ التكهف يجب أن يكون الضغط الموضعى يساوى أو أقل من ضغط البخار ويجب أن تقابل الفجوات منطقة ضغط أعلى من ضغط البخار لكى تنهار

* تبدأ الطلمبات الطاردة المركزية فى التكهف عندما يكون ضغط السحب غير كافى ليحافظ على ضغوط فوق ضغط البخار فى كل مكان من ممرات السريان

* تكون عادة المناطق الأكبر حساسية للتكهف هى جوانب الضغط المنخفض لريش المروحة الأولى وذلك بالقرب من حافة المدخل والغطاء الأمامى حيث يوجد أكبر إنحناء

* يؤدى ضرر التكهف إلى تلف مروحة الطلمبة خلال فترة زمنية قصيرة من التشغيل المستمر ، هذا بالإضافة إلى حدوث الضوضاء والإهتزازات Noise & Vibration وأيضاً التلفيات نتيجة التلامس بين الأسطح الثابتة والمتحركة(على سبيل المثال تلف مانع التسرب أو الكراسى)

المقدار الصافى لضغط السحب الموجب للطلمبة

Pump NPSH (Required NPSH)

أو إنخفاض الضغط الديناميكى Dynamic Head Depression

* لكى نتلاشى حدوث ظاهرة التكهف Cavitation داخل الطلمبة يجب أن يكون أقل ضغط بالطلمبة أكبر من ضغط البخار للسائل المتداول عند درجة حرارة التشغيل

* أقل ضغط بالطلمبة لا يكون عند فلانشة السحب للطلمبة ولكن يكون بالقرب من حافة المدخل والغطاء الأمامى للمروحة الأولى وذلك نتيجة تأثير الدوامات التى تسببها الحركة الدورانية للمروحة Mechanical Effect

* يطلق على الفرق بين الضغط المانومترى عند فلانشة السحب للطلمبة P_{ms} وأقل ضغط بالطلمبة P_{min}(فى صورة Head بالمتر) المقدار الصافى لضغط السحب الموجب للطلمبة

Pump Net Positive Suction Head (Required NPSH)

أو إنخفاض الضغط الديناميكى Dynamic Head Depression

وذلك نتيجة الحركة الدورانية للمروحة

* لكى نتلاشى حدوث ظاهرة الـ Cavitation يجب أن يكون:

$$P_{min} > P_{vap}$$

حيث أن ضغط البخار يعطى بالقيمة المطلقة Absolute لذلك يجب تحويل الضغوط بأطراف المعادلة إلى القيم العيارية Gage

$$P_{min} > -(P_{atm} - P_{vap})$$

$$P_{ms} - NPSH\left(\frac{Sp.gr}{10}\right) > -(P_{atm} - P_{vap}) \text{ i.e } P_{ms} > NPSH\left(\frac{Sp.gr}{10}\right) - (P_{atm} - P_{vap})$$

$$H_{ms} - NPSH > -(H_{atm} - H_{vap})$$

$$(H_{atm} - H_{vap}) + H_{ms} > NPSH$$

$$(H_{atm} - H_{vap}) + \left(H_{SS} - H_{LS} - \frac{Vs^2}{2g}\right) > NPSH$$

Available NPSH > Required NPSH (Dynamic Head Depression)

$$H_{ss} < (H_{atm} - H_{vap}) - NPSH_{req} - H_{LS} - \frac{V_S^2}{2g}$$

H_{ms} : ضغط السحب المانومترى فى صورة Head بالمتر (موجب أو سالب) وهو يساوى

$$\left(H_{SS} - H_{LS} - \frac{V_S^{\ 2}}{2g}\right)$$

H_{atm} : الضغط الجوى فى صورة Head بالمتر ويساوى ١٠,٣ متر Head مياه

H_{vap} : الضغط البخارى للسائل المتداول فى صورة Head بالمتر (موجب) وإذا كان السائل خليط من الهيدروكربونات يتم قياس الضغط البخارى بطريقة نقطة الفقاعة

H_{ss} : Head السحب الإستاتيكى بالمتر (موجب إذا كان مستوى السائل أعلى من المستوى القياسى للطلمبة والموضح بالأشكال(٣٤أ، ب،ج) ، سالب إذا كان مستوى السائل أقل من المستوى القياسى للطلمبة)

H_{LS} : الفواقد فى خط السحب وتشمل فاقد الإحتكاك والفواقد الثانوية فى صورة Head بالمتر (موجب)

$\frac{V_S^{\ 2}}{2g}$: طاقة حركة السائل فى خط السحب بالمتر (موجب)

NPSH : المقدار الصافى لضغط السحب الموجب للطلمبة فى صورة Head بالمتر (موجب)

* ضغط الطرد المانومترى فى صورة Head بالمتر يساوى $H_{md} = H_{sd} + H_{Ld}$

H_{sd} : Head الطرد الإستاتيكى بالمتر

H_{Ld} : الفواقد فى خط الطرد وتشمل فاقد الإحتكاك والفواقد الثانوية فى صورة Head بالمتر

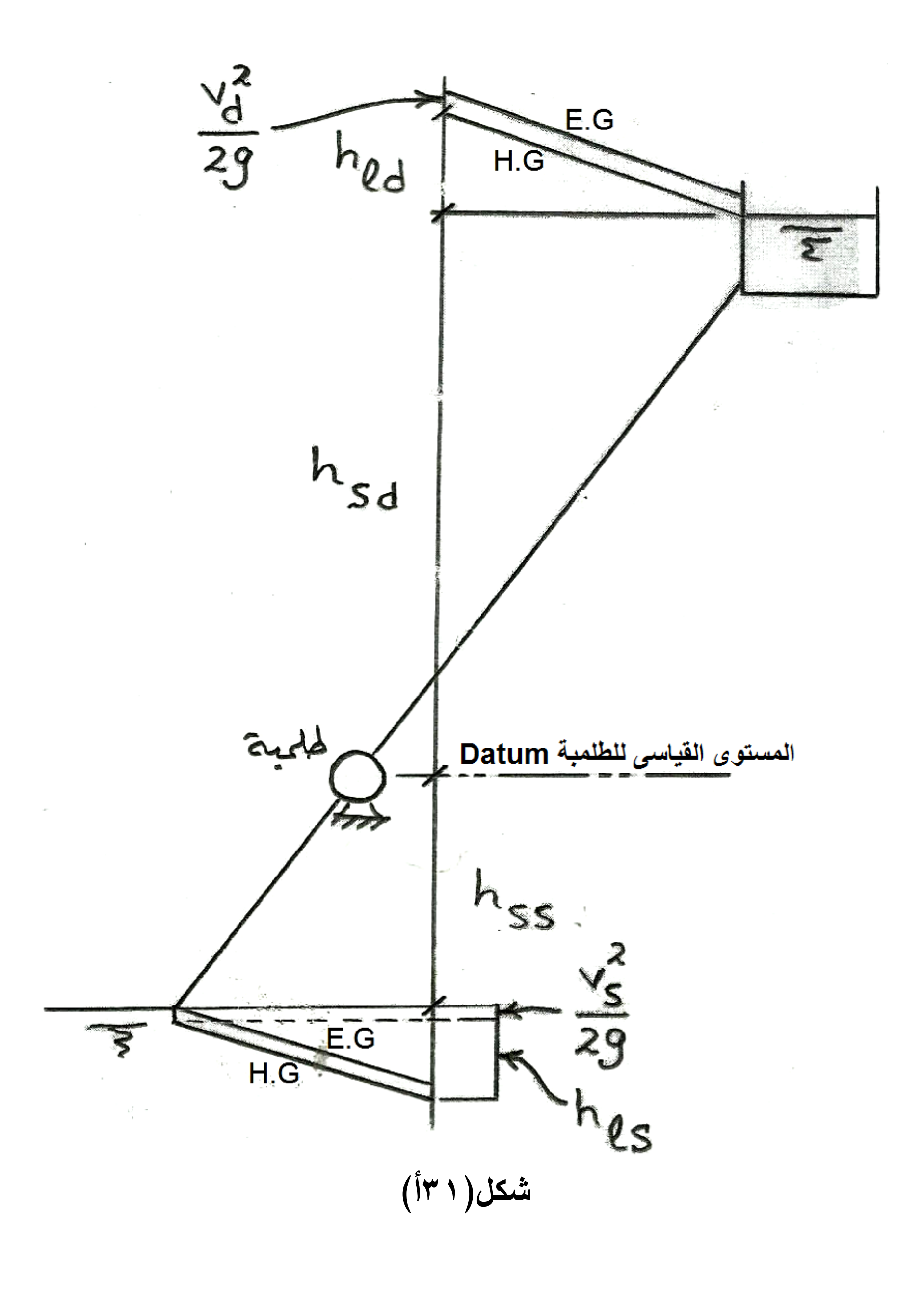
* يوضح شكل(٣١أ) كيفية حساب ضغط السحب المانومترى وضغط الطرد المانومترى فى صورة Head بالمتر وذلك برسم خط إنحدار الطاقة E.G وخط إنحدار الضغط H.G على طول خطى السحب والطرد للطلمبة

* الضغط البخارى للمياه = ٠,٠٣ كجم/سم^{٢} مطلق(٠,٣ متر Head مياه) عند درجة الحرارة العادية ٢٣,٦°م والكثافة النسبية للمياه = ١

$$(H_{atm} - H_{vap}) = 10.3 - 0.3 = 10 \text{ mt}$$

* الضغط البخارى للبنزين = ٠,٥٦ كجم/سم^{٢} مطلق(٧,٦٧ متر Head بنزين) عند درجة الحرارة ١٠٠°ف أى ٣٧,٨°م والكثافة النسبية للبنزين = ٠,٧٣

$$(H_{atm} - H_{vap}) = 14.11 - 7.67 = 6.44 \text{ mt}$$

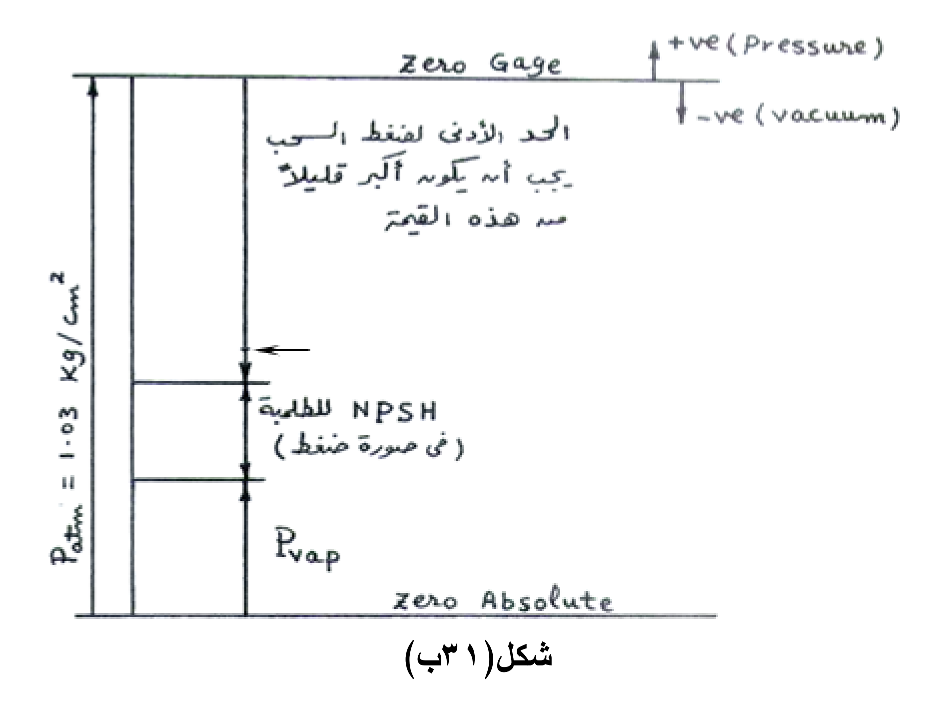


شكل(٣١أ)

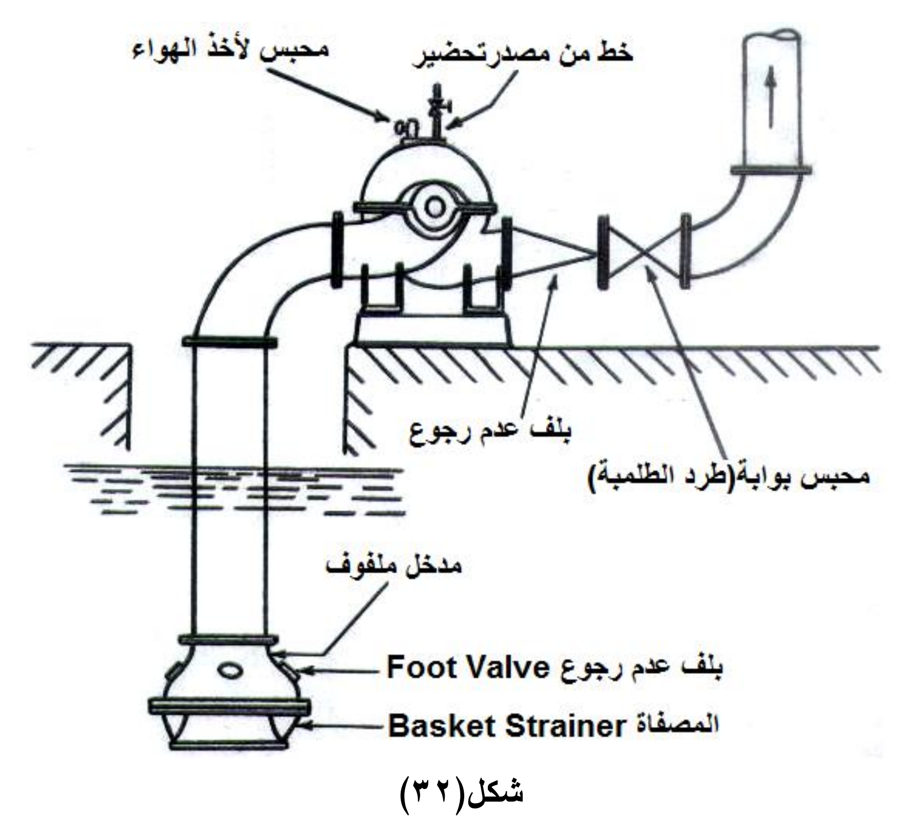
* لكى نتلاشى حدوث Cavitation للطلمبة نطرح(إرتفاع المستوى القياسى للطلمبة عن منسوب السائل بالمجرى) من قيمة($H_{atm} - H_{vap}$) وهى ١٠ متر للمياه عند درجة الحرارة العادية ٢٣,٦°م والباقى يتم طرح منه قيمة(الفواقد الكلية بخط سحب الطلمبة مضاف إليها طاقة حركة السائل بخط سحب الطلمبة) والناتج يجب أن يكون أكبر من الـ NPSH للطلمبة ، حيث أن الناتج فى صورة ضغط يساوى $P_{ms} + (1.03 - P_{vap})$ وذلك كما يتضح من شكل(٣١ب)

(يمكن الرجوع إلى أقصى ضغط سالب بالباب الأول للتوضيح)

* فى أحسن الظروف لا يمكن لطلمبة أن تنزح الماء من بئر عميقة تقرب من عشرة أمتار حيث أنه توجد عناصر تنقص من قيمة هذه الأمتار العشرة المتاحة لنا وهى الفواقد الكلية بخط سحب الطلمبة وطاقة حركة السائل بخط سحب الطلمبة بالإضافة إلى إنخفاض الضغط الديناميكى داخل قنوات السحب للمروحة الأولى بالطلمبة نفسها(NPSH)



شكل(٣١ب)



شكل(٣٢)

* لكى نتلاشى إحتمالات حدوث تكهف Cavitation للطلمبة يمكن:

١ – تخفيض الفواقد فى خط السحب بتركيب مدخل ملفوف لخط السحب (Bell-Mouth Inlet or Reducer) يكون الفاقد فيه $0.05 \frac{V_s^2}{2g}$ ، وأيضا تخفيض طول خط السحب بقدر الإمكان

٢- تخفيض طاقة حركة السائل بزيادة قطر خط السحب

* يتضح من شكل(٣٢) ، وجدول(٢) بالباب الأول أن الفاقد فى الفلتر (المصفاة) Basket Strainer يساوى $1.5\ \frac{V_S^{\ 2}}{2g}$ وأيضاً الفاقد فى بلف عدم الرجوع(الرداخ) Foot Valve أعلى الفلتر (المصفاة) يساوى $0.8\ \frac{V_S^{\ 2}}{2g}$

* يوضح شكل(٣٣) أن ضغط السحب المانومترى H_{ms} فى صورة Head بالمتر (موجب أو سالب) يساوى

$$H_{ms} = \frac{10P_{ms}}{sp.gr} + \frac{V_s^{\ 2}}{2g} + Z_{ps}$$

P_{ms} : ضغط السحب المانومترى بالكجم/سم٢(موجب أو سالب)

V_s : سرعة سريان السائل بخط السحب بالمتر/ثانية

Z_{ps} : إرتفاع منسوب سنتر مانومتر السحب عن المستوى القياسى Datum(موجب أو سالب)

* توضح الأشكال(٣٤أ، ب،ج) المستوى القياسى للطلمبات

* المقدار الصافى لضغط السحب الموجب للطلمبة Required NPSH يساوى

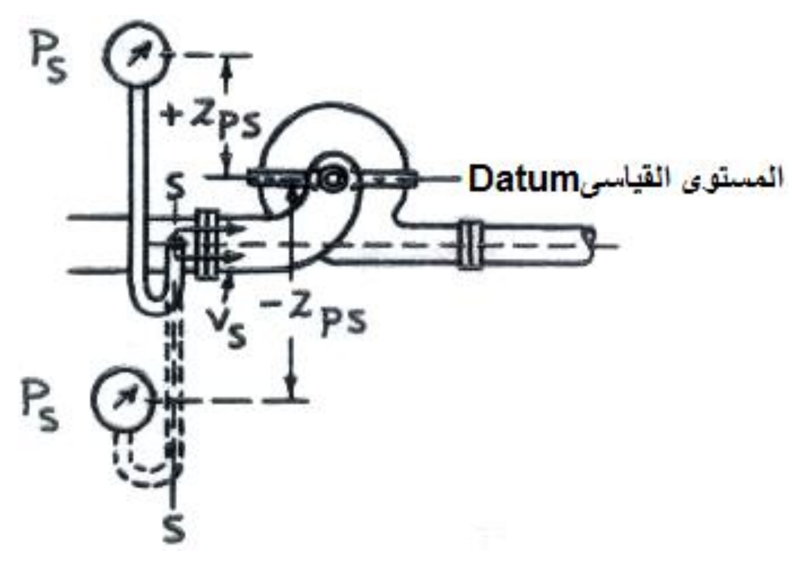
$$\text{Required NPSH} = \sigma H$$

σ : معامل توما للتكهف وقد وجد أن هذا المعامل يعتمد على السرعة النوعية فقط ويوضح جدول(١١) القيم المتوسطة لتغير معامل توما مع السرعة النوعية للطلمبات الطاردة المركزية والمروحية

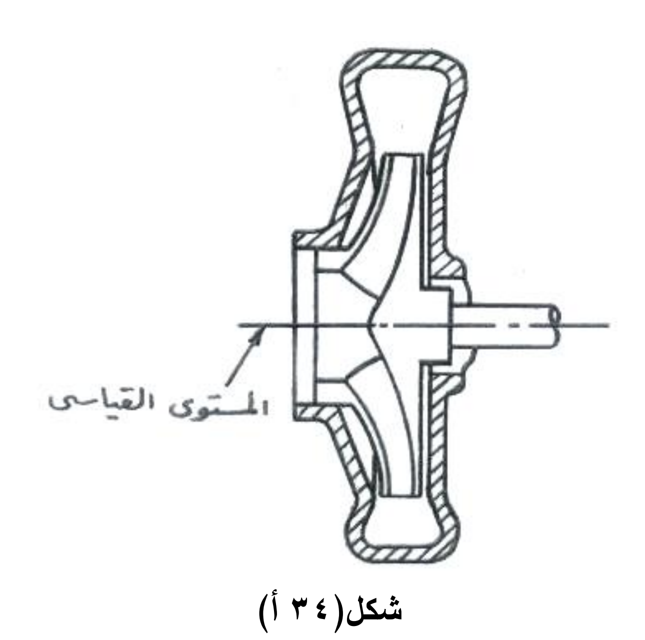
H : الضغط الذى تعطيه المروحة الأولى(المرحلة الواحدة) وهو يساوى تقريباً الضغط الكلى للطلمبة فى صورة Head بالمتر مقسوماً على عدد المراحل

* عند تصميم الطلمبات يجب محاولة تخفيض قيمة إنخفاض الضغط الديناميكى(قيمة NPSH للطلمبة) وذلك حتى تبعد الطلمبة فى التشغيل عن نطاق التكهف Cavitation ولتحقيق ذلك لابد أن يحدث إنخفاض طفيف فى كفاءة الطلمبة عن نقطة أقصى كفاءة

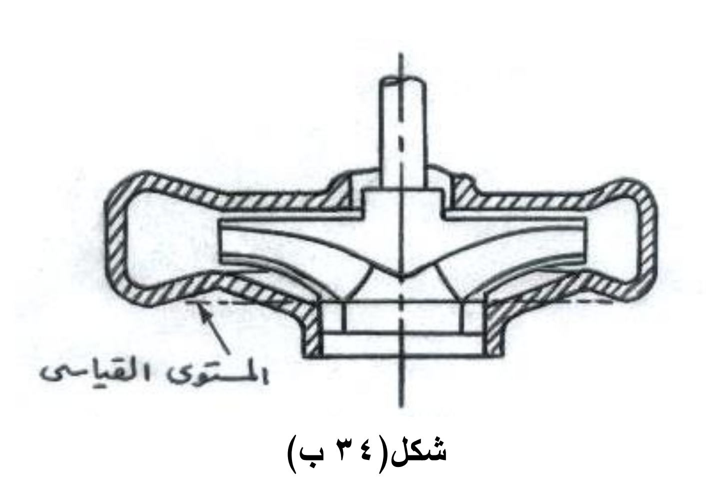
* لذلك نجد أن نقطة أحسن كفاءة للطلمبة Best Efficiency Point تكون منخفضة قليلاً عن نقطة أقصى كفاءة للطلمبة Maximum Efficiency Point وذلك على منحنيات أداء الطلمبة



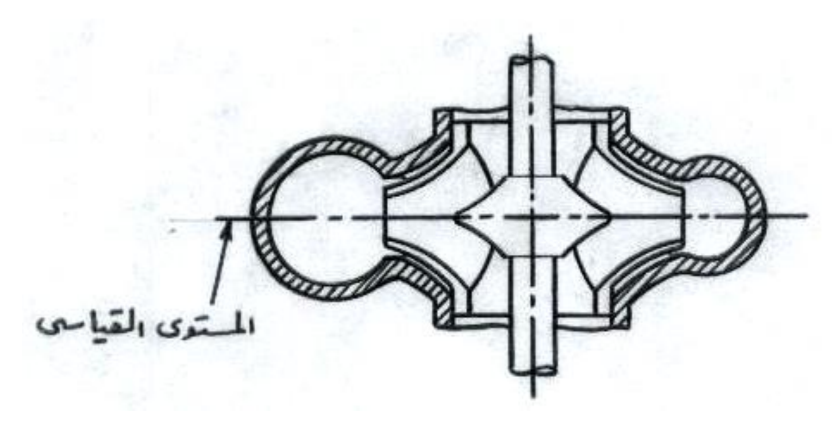
شكل(٣٣)



شكل(٣٤ أ)



شكل(٣٤ ب)



شكل(٣٤ ج)

n_S	σ	n_S	σ	n_S	σ
500	0.026	2100	0.16	8000	0.7857
600	0.0312	2800	0.21	9000	0.9143
700	0.0364	3000	0.224	10000	1.0646
800	0.0416	4000	0.337	11000	1.2149
900	0.0468	5000	0.45	11300	1.26
1000	0.052	5700	0.53	13000	1.5878
1400	0.096	6000	0.564	14000	1.7807
1500	0.105	7000	0.66	14100	1.8
2000	0.1508	7100	0.67	15000	1.9737

جدول(١١)

المواصفات الواجب توافرها بمجمعات وخطوط أنابيب سحب الطلمبات

توجد بعض المواصفات المقررة والواجب تحقيقها بمجمعات وخطوط أنابيب سحب الطلمبات وخصوصاً الطلمبات ذات الضغط المنخفض Low-Head Pumps(التى تسحب السائل من خزان) والتى يطلق عليها أحياناً الطلمبات المناولة وذلك بهدف تقليل فاقد الضغط وأيضا تقليل الدوامات ، الإضطرابات والجيوب الغازية بمجمعات وخطوط السحب مما يترتب عليه تقليل العوامل المؤثرة على حدوث ظاهرة التكهف Cavitation فى الطلمبات (يمكن الرجوع إلى ظاهرة التكهف Cavitation فى الطلمبات بالباب الخامس للتوضيح) ، وتتلخص هذه المواصفات فيما يلى:

١- يراعى ألا تزيد سرعة سريان السائل بالمجمع الرئيسى Header لأفرع أنابيب السحب من المستودعات(أى خط السحب العمومى Header من أمام منطقة المستودعات حتى ترنش الخطوط أمام عنبر الطلمبات) عن ٠,٩ متر/ثانية ويمكن حساب قطر خط السحب العمومى Header بالبوصة وذلك بإستخدام المعادلة:

$$D_i = \sqrt{\frac{Q}{1.824 \times 0.9}}$$

حيث أن Q هى مجموع معدلات الطلمبات التى تسحب فى آن واحد من خط السحب العمومى Header بالمتر[٣]/ ساعة

* يراعى أن يكون منسوب الراسم العلوى(للمجمع الرئيسى Header لأفرع أنابيب السحب من الخزانات أو لخط السحب العمومى من الخزانات) أقل من منسوب قاع الخزان (يمكن الرجوع إلى تطبيق السريان خلال سيفون بالباب الأول للتوضيح)

٢- يراعى ألا تزيد سرعة سريان السائل بخط سحب الطلمبة(أى خط السحب من فلانشة سحب الطلمبة حتى خط السحب العمومى Header بترنش الخطوط أمام عنبر الطلمبات) عن ١,٥ متر/ثانية ويمكن حساب قطر خط سحب الطلمبة بالبوصة بإستخدام المعادلة:

$$D_i = \sqrt{\frac{Q}{1.824 \times 1.5}}$$

حيث أن Q هى معدل سحب الطلمبة من خط السحب العمومى Header بالمتر[٣]/ ساعة

٣- إذا كانت سرعة سريان السائل عند فلانشة سحب الطلمبة لا تزيد عن ١,٥ متر/ثانية ينبغى أن يكون قطر خط سحب الطلمبة يساوى قطر فلانشة سحب الطلمبة ، ويجب عدم تخفيض قطر خط سحب الطلمبة نهائياً حتى الوصول إلى خط السحب العمومى Header

٤- إذا كانت سرعة سريان السائل عند فلانشة سحب الطلمبة أكبر من ١,٥ متر/ثانية يجب أن يكون قطر خط سحب الطلمبة أكبر من قطر فلانشة سحب الطلمبة بالقيمة التى تحافظ على سرعة سريان السائل بخط سحب الطلمبة فى حدود ١,٥ متر/ثانية وينبغى إستخدام مساليب لامركزية Eccentric Reducer كما يتضح من شكل(٣٥و) وذلك لعدم تكون جيوب غازية بالجزء أعلى المسلوب

* إذا كان مصدر السحب(Source of Supply) أعلى الطلمبة يتم تركيب مسلوب لامركزى بحيث يكون الجانب المستقيم(العدل) من المسلوب لأسفل Flat On Bottom(FOB) كما يتضح من شكل(٣٥ب)

* إذا كان مصدر السحب(Source of Supply) أسفل الطلمبة يتم تركيب مسلوب لامركزى بحيث يكون الجانب المستقيم(العدل) من المسلوب لأعلى Flat On Top(FOT) وذلك كما يتضح من شكل(٣٥أ)

٥- في حالة تركيب مسلوب لامركزى بفلانشة سحب الطلمبة يجب ألا يزيد الفرق بين قطر خط سحب الطلمبة وقطر فلانشة سحب الطلمبة عن ٤ بوصة وذلك حتى لايحدث إضطراب للسريان عند فلانشة سحب الطلمبة

٦- يفضل تركيب كيعان من نوع ذى نصف قطر التقوس الطويل Long Radius Elbow والذى يساوى على الأقل ١,٥ قطر الخط وذلك بخط سحب الطلمبة

٧- إذا كان السحب فى الإتجاه الرأسى Top Suction يراعى أن يكون الطول المستقيم لخط السحب Straight Run من فلانشة سحب الطلمبة حتى بداية الكوع ٩٠° من نوع Long Radius Elbow لايقل عن ٣ أمثال قطر خط السحب كما يتضح من شكل(٣٦أ)

٨- فى حالة تركيب كوع من نوع Short Radius Elbow أو تيه يراعى أن يكون الطول المستقيم لخط السحب Straight Run قبل فلانشة سحب الطلمبة لايقل عن(٨ أمثال قطر خط السحب)

٩- فى الطلمبات المزدوجة السحب Double Suction Pumps ينبغى عدم تركيب كوع أفقى (فى مستوى مطابق أو موازى لعمود الطلمبة) بفلانشة سحب الطلمبة كما يتضح من شكل(٣٥ج)

* فى حالة تركيب كوع بفلانشة سحب الطلمبة ينبغى أن يكون إتجاه السريان Flow من أعلى أو من أسفل بإستخدام كوع مستواه رأسى أى يتم تركيب الكوع فى مستوى عمودى على عمود الطلمبة

* فى حالة تركيب كوع من نوع Short Radius Elbow أو أى جهاز يسبب إضطراب للـ Flow عند فلانشة سحب الطلمبة ينبغى تركيب طول مستقيم لخط السحب Straight Run لايقل عن (٥ أمثال قطر خط السحب) بين الكوع أو الجهاز وفلانشة سحب الطلمبة

* فى حالة تركيب كوع أفقى(فى مستوى مطابق أو موازى لعمود الطلمبة) من نوع
Short Radius Elbow ينبغى تركيب طول مستقيم لخط السحب Straight Run لايقل عن
(٨ أمثال قطر خط السحب) بين الكوع وفلانشة سحب الطلمبة

١٠- ينبغى عدم تركيب الكيعان(القريبة من بعضها البعض والتى تصنع °٩٠ بين مستوياتها) بخط سحب الطلمبة ويوضح شكل(٣٥د) التركيب الخاطئ لعدد٢ كوع °٩٠ بخط سحب الطلمبة

١١- إذا تم تركيب مأخذ لخط سحب الطلمبة من مجمع رئيسى Header يجب ألا يقل قطر مأخذ خط سحب الطلمبة عن قطر المجمع الرئيسى Header ، بمعنى أنه يتم تركيب تيه متساوى
(Equal Tee) كما يتضح من شكل(٣٥هـ) وذلك لعدم تكون جيوب غازية أعلى المجمع الرئيسى
Header بالجزء المتصل بمأخذ خط سحب الطلمبة

١٢- بالنسبة لخط السحب من خزان أو مستودع Tank ينبغى تركيب مدخل ملفوف لخط السحب
(Bell Mouth Inlet or Reducer) كما يتضح من شكل(٣٦ج) ولتحقيق أقصى غمر للسائل فوق مدخل خط السحب من خزان يفضل تركيب كوع السحب الملفوف متجه رأسى لأسفل فى إتجاه قاع الخزان
(Flared Suction Elbow) كما يتضح من شكل(٣٦د)

١٣- ينبغى تقليل طول خط السحب من المستودع بقدر الإمكان وأيضاً يجب تلاشى إرتفاع منسوب خط السحب من المستودع عند أى نقطة على طول مسار الخط أعلى من منسوب مأخذ خط السحب من المستودع(الخزان) والإنخفاض بالمنسوب مرة أخرى وذلك لعدم تكون جيوب غازية بهذه المنطقة ويوضح شكل(٣٦ب) كلاً من التركيب الخاطئ والتركيب الصحيح لخط السحب

١٤- فى حالة إنخفاض منسوب خط السحب من المستودع وإرتفاعه مرة أخرى يجب أن يكون الإرتفاع بحد أقصى لمنسوب نفس النقطة التى إنخفض منها خط السحب أو لمنسوب أقل منها

١٥- بقدر الإمكان يفضل عدم تركيب فلتر بخط سحب الطلمبة ، وعند الحاجة إلى تركيب فلتر يجب أن يكون فاقد الضغط خلال الفلتر أقل ما يمكن على سبيل المثال الفاقد فى الفلتر(المصفاة)
Basket Strainer يساوى

$$1.5\,\frac{V_S^{\,2}}{2g}$$

* غالباً يكون المدى الشائع لمقاس الجسيمات التى يحتجزها الفلتر من ١ بوصة : ٠,٠٠١٦ بوصة(٤٠ ميكرون)

* عند إختيار الفلتر يجب تحديد مقاس(الثقوب ، الشبكة أو فتحة السلك) المستخدم فى تصنيع الفلتر

* أقصى سمك للمعدن المثقوب(المستخدم فى تصنيع الفلتر) يساوى قطر الثقب أو أصغر قليلاً

* يطلق على عدد فتحات(الشبكة السلك Screen المستخدمة فى تصنيع الفلتر) لكل بوصة طولية فى الإتجاه الأفقى أو فى الإتجاه الرأسى بالـ Mesh أى أن Mesh 10 تعنى وجود عدد ١٠ فتحات بالشبكة السلك فى البوصة الطولية بالإتجاه الأفقى وأيضاً وجود عدد ١٠ فتحات بالشبكة السلك فى البوصة الطولية بالإتجاه الرأسى

* يوضح شكل(٣٦هـ) أنه يتم تخريم الثقوب إما على خط واحد Inline (للأقطار الأصغر للثقوب) أو متمايلة Staggered (للأقطار الأكبر للثقوب) ، ويطلق على المسافة بين سنتر الثقب وسنتر الثقب المجاور له Hole Spacing وتكون المسافة بين محيط كل ثقبين متجاورين تساوى

$$\text{Hole Spacing} - \text{Hole Diameter}$$

* طول أو عرض فتحة الشبكة السلك Opening بالبوصة يساوى

$$\frac{1}{Mesh} - Wire\ Diameter(Inch)$$

* النسبة المئوية للمساحة المفتوحة من(المعدن المثقوب أو الشبكة السلك) المستخدمة فى تصنيع الفلتر

Percent Open Area = مساحة الثقب الواحد(بوصة^٢^) × عدد الثقوب فى البوصة المربعة

= $\text{Opening}^2(\text{inch}^2) \times \text{Mesh}^2$ (للشبكة السلك)

* تقل النسبة المئوية للمساحة المفتوحة من المعدن المثقوب Percent Open Area بزيادة المسافة بين سنتر الثقب وسنتر الثقب المجاور له Hole Spacing وذلك لنفس قطر الثقب

* يطلق على نسبة المساحة المفتوحة للسريان Flow Area من(المعدن المثقوب أو الشبكة السلك) بالفلتر إلى مساحة المقطع الداخلى Flow Area للخط المتصل بالفلتر بنسبة المساحة المفتوحة للفلتر

$$Open\ Area\ Ratio(OAR)\ of\ a\ strainer = \frac{Open\ Flow\ Area\ of\ strainer}{Internal\ Cross\ Sectional\ Area\ of\ the\ pipe}$$

وفى معظم الأحوال يفضل أن تكون قيمة هذه النسبة حوالى ٢ : ١

* يطلق على الحد الأقصى لفرق الضغط الذى تتحمله الشبكة السلك Screen أو الحاوية السلك Basket للمصفاة Strainer بضغط الإنهيار Burst Pressure وهو يعتمد على عدة عوامل وهى: الخامات المصنوع منها المصفاة ، سمك الخامات ، المقاس والشكل الهندسى للمصفاة(المساحة السطحية للمصفاة والمعرضة لفرق الضغط) ، النسبة المئوية للمساحة المفتوحة من(المعدن المثقوب أو الشبكة السلك) المستخدمة فى تصنيع الفلتر

* يجب تفادى وصول فاقد الضغط خلال الفلتر إلى ضغط الإنهيار Burst Pressure ويتم ذلك بالنظافة الدورية للفلتر

* <u>تقوم الشركات المنتجة للفلاتر بتحديد الحد الأقصى لفرق الضغط خلال الفلتر على سبيل المثال</u>

<u>(Maximum $\Delta P = 0.5$ bar)</u>

* في معظم خطوط الطلمبات المصممة لسرعات سريان مناسبة تكون القيمة المسموح بها لفاقد الضغط خلال الفلتر حوالى ٠,١٤ كجم/سم٢

١٦- ينبغى تقليل الدوامات ، الإضطرابات والجيوب الغازية بخط السحب فى مكان تركيب مأخذ جهاز حماية الطلمبة من إنخفاض ضغط السحب

* بإفتراض أنه لدينا طلمبة مناولة قيمة إنخفاض الضغط الديناميكى لها

NPSH (Required) = 2.46 mt

السائل المنقول: بنزين كثافته النسبية(sp.gr) = ٠,٧٣ ، الضغط البخارى للبنزين (P_{vap}) يساوى ٠,٥٦ كجم /سم٢ عند ٣٧,٨ °م

يمكن ضبط جهاز حماية الطلمبة المناولة من إنخفاض ضغط السحب على القيم الآتية:

(- ٠,٢٠ كجم/سم٢ Alarm) ، (- ٠,٢٥ كجم/سم٢ Shutdown)

(يمكن الرجوع إلى تطبيق١ بملحق١ للتوضيح)

المواصفات الواجب توافرها بمجمعات وخطوط أنابيب طرد الطلمبات

* توجد بعض المواصفات المقررة والواجب تحقيقها بخطوط أنابيب طرد الطلمبات وتتلخص هذه المواصفات فيما يلى:

١- ينبغى عدم تركيب كوع أفقى(فى مستوى موازى لعمود الطلمبة) بفلانشة طرد الطلمبة

٢- ينبغى أن يكون قطر خط طرد الطلمبة أكبر من قطر فلانشة الطرد للطلمبة وذلك لتخفيض سرعة السائل الخارج من الطلمبة أى تخفيض(الفاقد الثانوى أو الفاقد الكلى) بخط طرد الطلمبة وبالتالى تخفيض الفاقد فى قدرة الطلمبة

٣- إذا كانت سرعة الـ Flow الخارج من الطلمبة أكبر من ٥ متر/ثانية يتم تركيب مسلوب لتكبير القطر Increaser بفلانشة طرد الطلمبة مباشرة وقبل تركيب بلف عدم الرجوع وذلك لتخفيض سرعة السائل الخارج من الطلمبة أى تخفيض(الفاقد الثانوى أو الفاقد الكلى) بخط طرد الطلمبة وبالتالى تخفيض الفاقد فى قدرة الطلمبة (يمكن الرجوع إلى جدول١٢ للتوضيح) ، ويتم تركيب مسلوب مركزى لتكبير القطر Concentric Increaser إذا كان الطرد فى الإتجاه الرأسى Top Discharge

٤- فى معظم الحالات يفضل عدم وضع بلف عدم الرجوع بخط الطرد فى الإتجاه الرأسى إلا إذا كانت فلانشة طرد الطلمبة فى الإتجاه الرأسى Top Discharge

٥- يجب عدم تخفيض قطر خط طرد الطلمبة نهائياً حتى الوصول إلى مجمع Header خطوط الطرد وذلك لتقليل الفاقد فى قدرة الطلمبة والناتج من(الفاقد الثانوى أو الفاقد الكلى) بخط طرد الطلمبة والذى يعادل تأثير الخنق على طرد الطلمبة (يمكن الرجوع إلى حدوث تغير فى كثافة ولزوجة السائل أثناء نقل البترول ومنتجاته بخطوط الأنابيب الطويلة بالباب السادس للتوضيح)

٦- بصفة عامة يتم تركيب بلف عدم رجوع وبلف قاطع(بلف طرد ويكون فى معظم الأحوال من نوع البوابة Gate Valve) بخط الطرد بحيث يوضع بلف عدم الرجوع أقرب ما يكون من الطلمبة أى بين الطلمبة وبلف الطرد

٧- يجب إرتكاز خط الطرد على حامل Support أقرب ما يمكن من فلانشة طرد الطلمبة وذلك لتقليل الإهتزازات على جسم الطلمبة

٨- على سبيل المثال لتقليل الفاقد فى قدرة الطلمبة والناتج من(الفاقد الثانوى أو الفاقد الكلى) بخط طرد الطلمبة يجب مراعاة تقليل(الفاقد الثانوى أو الفاقد الكلى) بخط طرد الطلمبة(أى خلال الوصلة من فلانشة طرد الطلمبة حتى هيدر الطرد العمومى) وبالتالى يفضل تقليل سرعة سريان السائل بخط طرد الطلمبة ، ويعتبر إرتفاع قيمة(الفاقد الثانوى أو الفاقد الكلى) هو القيد لسرعة سريان السائل بخط طرد الطلمبة ويتم حساب سرعة سريان السائل بخط طرد الطلمبة V_d كالآتى:

* نحسب الفواقد الثانوية بخط طرد الطلمبة وذلك بالرجوع إلى جدول٢(الباب الأول) ، على سبيل المثال

* الفاقد فى محبس عدم الرجوع Swing check valve وله معامل فاقد($k = 2.5$)

* الفاقد فى المحبس البوابة Gate valve وله معامل فاقد(k = 0.2)

* الفاقد عند زيادة مقطع الأنبوبة تدريجياً Increaser وله معامل فاقد(k = 1.4)

* الفاقد فى الكوع ٩٠° Long Radius(نق = ١,٥ القطر) وله معامل فاقد(k = 0.7)

* حيث أنه يجب أن تكون الفواقد الثانوية بخط طرد الطلمبة تساوى أو أقل من فاقد الضغط المسموح به

$$K \frac{V_d^{\,2}}{2g} < \text{Allowable Pressure Loss}$$

$$(2.5+0.2+1.4+0.7)\frac{V_d^{\,2}}{2g} < \Delta P \times \frac{10}{sp.gr}$$

$$4.8 \frac{V_d^{\,2}}{2g} < \Delta P \times \frac{10}{sp.gr}$$

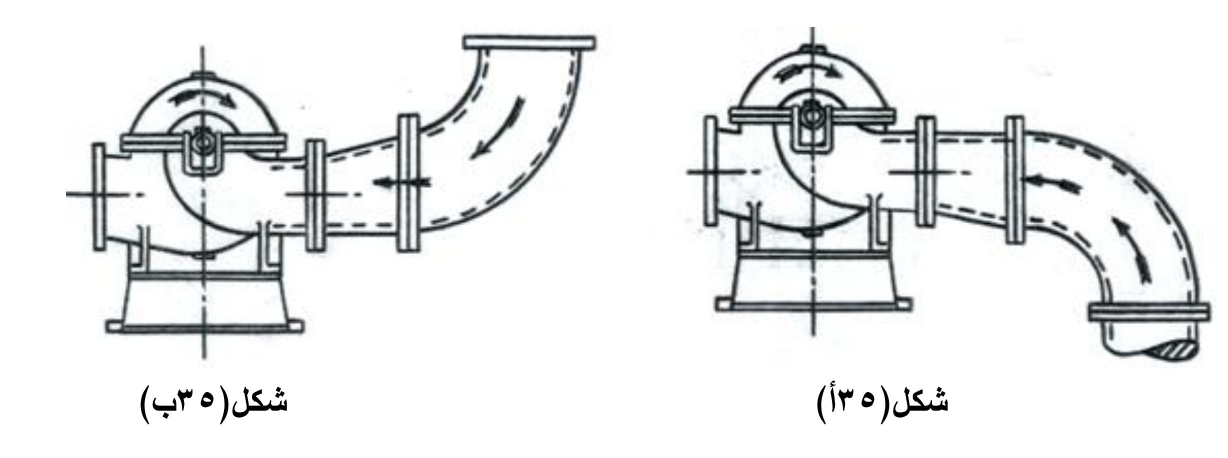
وبإفتراض أن كثافة السائل = ٠,٨٥ جم/سم^{٣} نحصل على قيم فاقد الضغط بخط طرد الطلمبة ΔP المقابلة لسرعة سريان السائل بخط طرد الطلمبة V_d وذلك فى حالة أن يكون مجموع معاملات الفواقد الثانوية يساوى ٥ أو يساوى ١٠ كما يتضح من جدول(١٢)

فاقد الضغط بخط طرد الطلمبة ΔP (كجم/سم^{٢}) K = 5	سرعة سريان السائل بخط طرد الطلمبة V_d (متر/ثانية) K = 5	فاقد الضغط بخط طرد الطلمبة ΔP (كجم/سم^{٢}) K = 10	سرعة سريان السائل بخط طرد الطلمبة V_d (متر/ثانية) K = 10
٠,٢٥	٣,٤	٠,٢٥	٢,٤
٠,٥٠	٤,٨	٠,٥٠	٣,٤
٠,٧٥	٥,٩	٠,٧٥	٤,٢
١	٦,٨	١	٤,٨

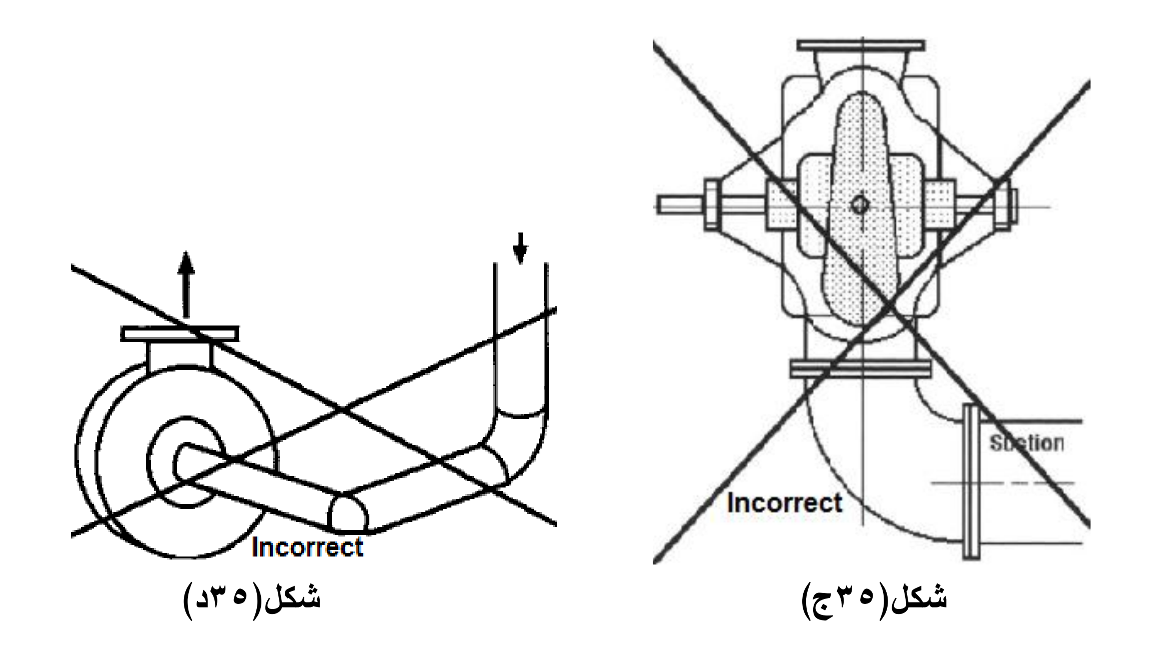
جدول(١٢)

٩- عند توقف الطلمبة الرئيسية Primary Pump يجب إستمرار السريان Flow بخط الأنابيب الرئيسى خارج الطلمبة سواء من خلال بلف عدم رجوع مركب على الخط الرئيسى أو من خلال خط(هيدر) السحب إلى خط(هيدر) الطرد بإستخدام خط فرعى Bypass مركب عليه بلف عدم رجوع (يمكن الرجوع إلى نموذج لمجمع بلوف إستلام البترول على المستودعات ونماذج لمحطات التدفيع/الرفع الرئيسية والبينية شكل٤٢ب بالباب السادس للتوضيح)

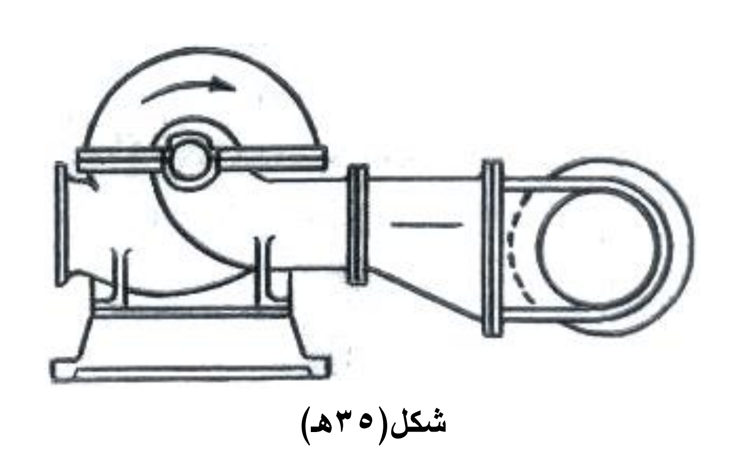
* يوضح شكل(٣٦و) الأوضاع المختلفة لفلانشات السحب والطرد للطلمبة



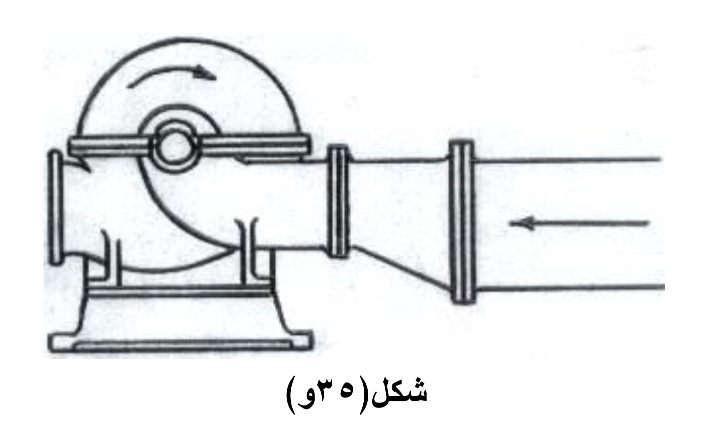
شكل(٣٥أ)　　　　شكل(٣٥ب)



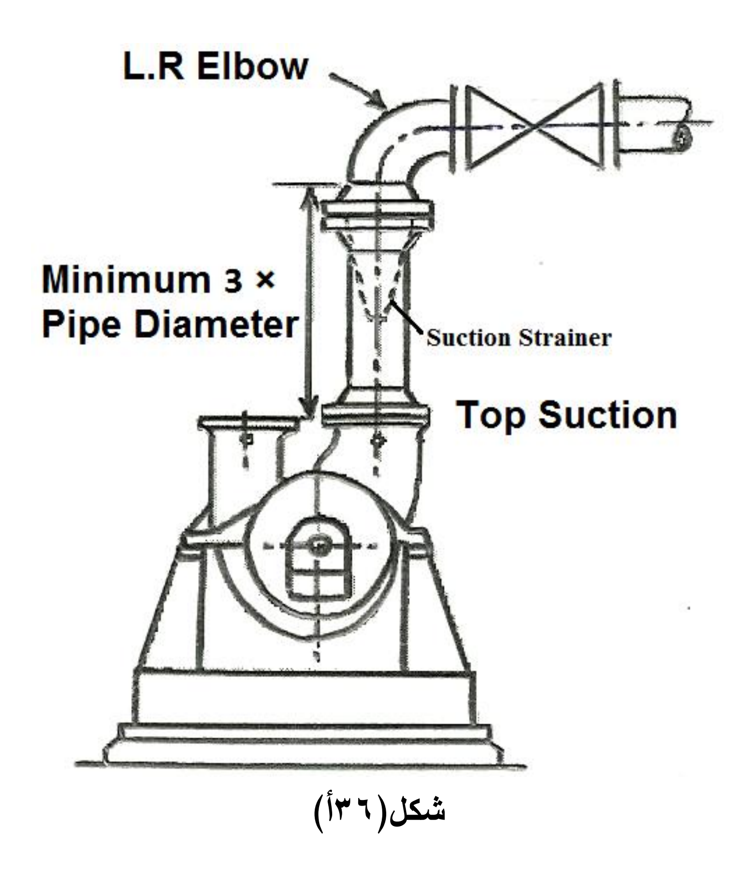
شكل(٣٥ج)　　　　شكل(٣٥د)



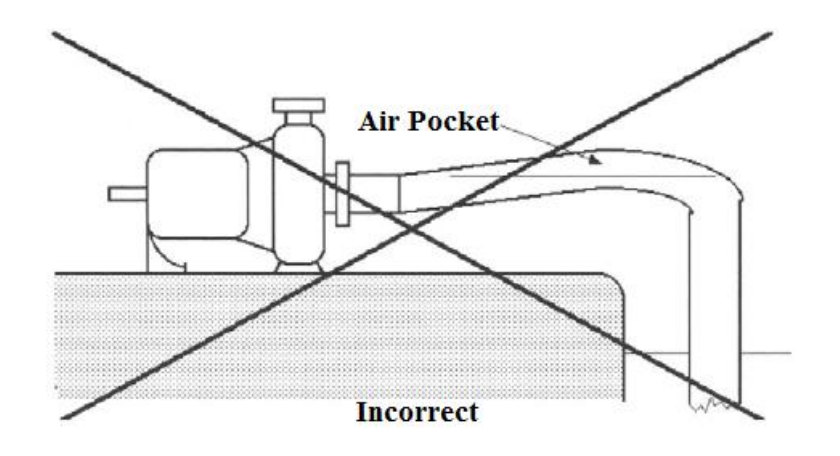
شكل(٣٥هـ)

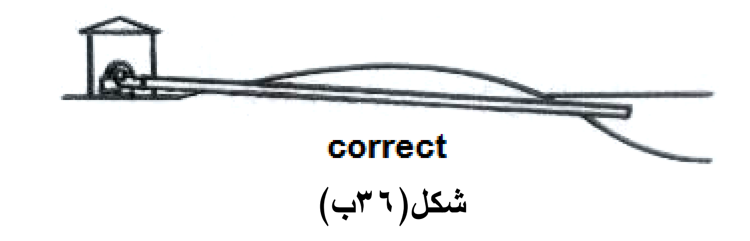


شكل(٣٥و)

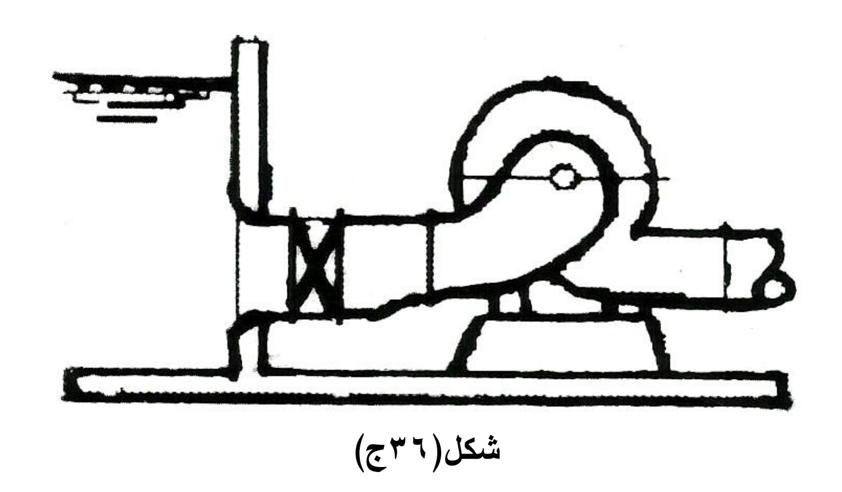


شكل(٣٦أ)

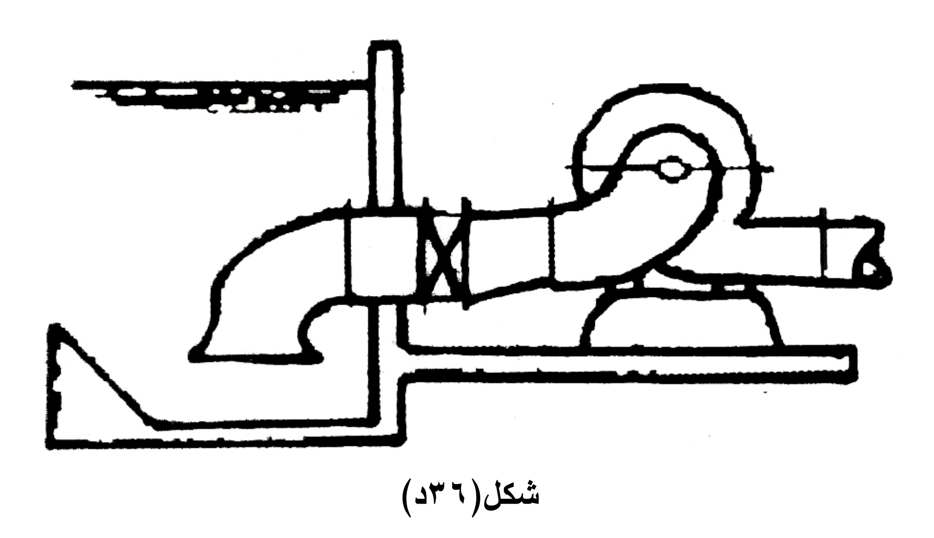




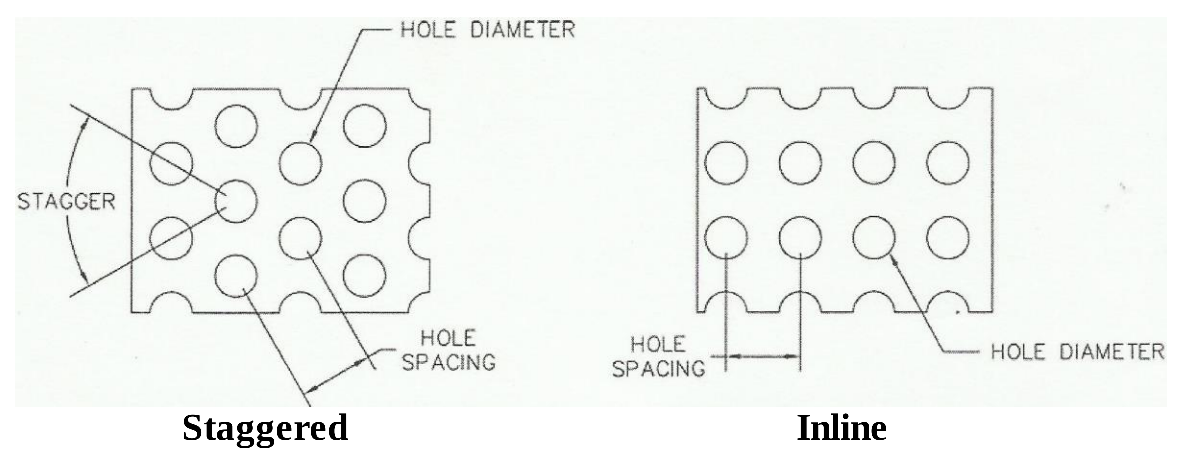
شكل(٣٦ب)



شكل(٣٦ج)



شكل(٣٦د)



Staggered **Inline**

شكل(٣٦هـ)

Pump Nozzle Arrangements

No	SUCTION	DISCHARGE	POSITION
1	SIDE	SIDE	
2	TOP	TOP	
3	SIDE	TOP	
4	END	TOP	
5	END	END (IN-LINE)	

شكل(٣٦و)

الباب السادس

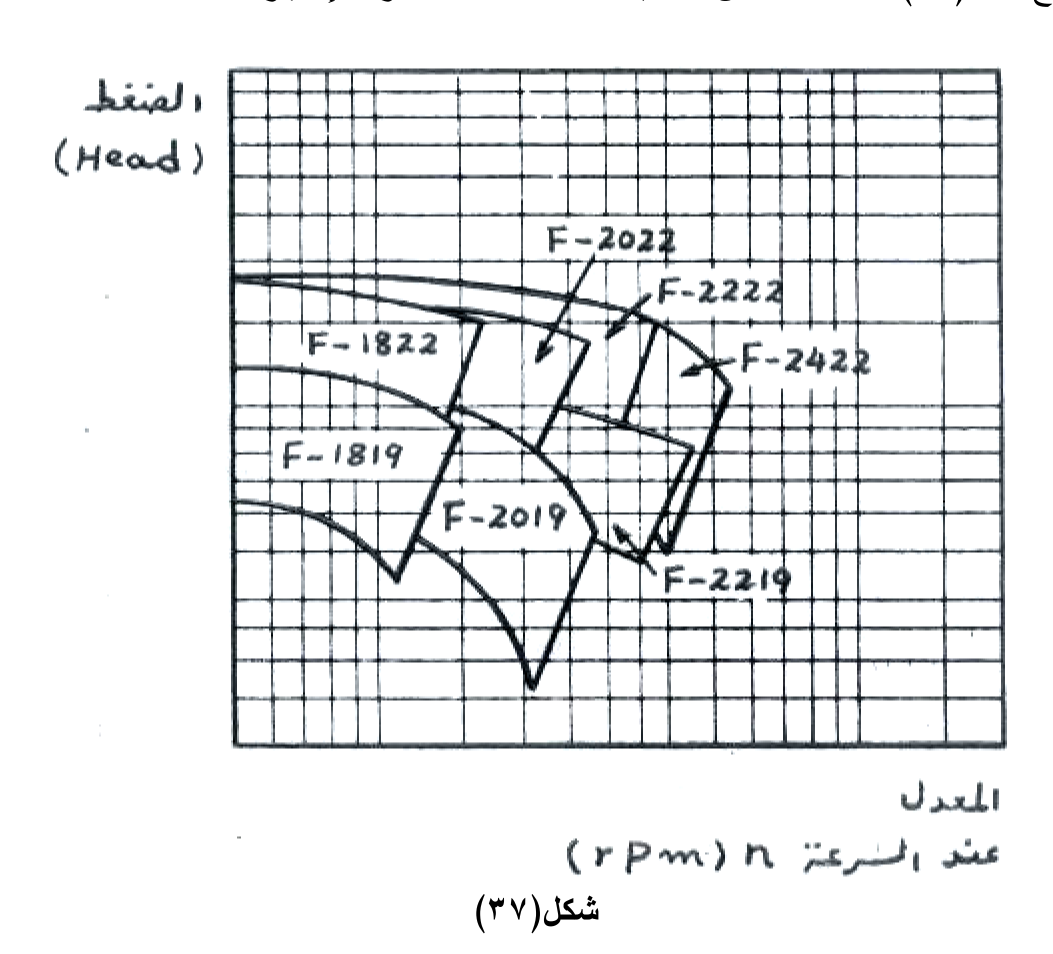
إختيار الطلمبات وتطبيقاتها فى مجال نقل البترول

طرق إختيار الطلمبات

* تصدر العديد من الشركات المنتجة للطلمبات خرائط إختيار توضح بيانات الأداء للطلمبات وذلك حتى يتمكن المشترى من إختيار أنسب طلمبة بمعرفة الأداء المطلوب تحقيقه(الكمية والضغط المطلوبين)

* يوضح شكل(٣٧) إحدى خرائط إختيار الطلمبة حيث أن كل مجال محدد برقم يغطى مدى الكمية والضغط الممكن تحقيقه بكفاءة جيدة من الطلمبة المحددة بإسم معين

* يوضح شكل(٢٩) بالباب الخامس منحنيات الأداء المقابلة لخرائط إختيار الطلمبة



شكل(٣٧)

* يجب إختيار الطلمبة التى لها أحسن كفاءة داخل نطاق التشغيل(الكمية والضغط المطلوبين) لنظام الضخ وإذا تعذر تحقيق ذلك يفضل إختيار الطلمبة التى لها أحسن كفاءة عند الحالة التى سوف تعمل الطلمبة فيها معظم الأحيان

* عند إختيار الطلمبة تعتبر ظروف الخدمة مقبولة إذا كانت الكفاءة لطلمبة معطاه تختلف عن الكفاءة القصوى بحوالى ٧%

* عند المفاضلة بين الطلمبات يتم إختيار الطلمبة التى تحقق أقل قيمة لقدرة التشغيل وكذلك التى تحقق أقل سعر (أو سعر معقول) وذلك بالمقارنة بالطلمبات الأخرى

* يتم إختيار الطلمبة التى تحقق أداء محدد يعتمد على مقاومة خط الأنابيب ولذلك سوف نوضح طرق إختيار الطلمبات المناسبة التى تقابل الحالات المختلفة لمقاومة خط الأنابيب

١ - عند ثبات فرق المنسوب بين خزانى الطرد والسحب

* يفضل إختيار الطلمبة التى فيها منحنى تغير الضغط مع المعدل له درجة ميل صغيرة بمعنى أن الضغط يتغير فى مدى بسيط عندما يتغير المعدل بواسطة بلف الطرد وذلك لتقليل الفاقد فى البلف

* فى هذه الحالة تبعد الطلمبة فى التشغيل عن نقطة أحسن كفاءة

٢ - عند تغير فرق المنسوب بين خزانى الطرد والسحب

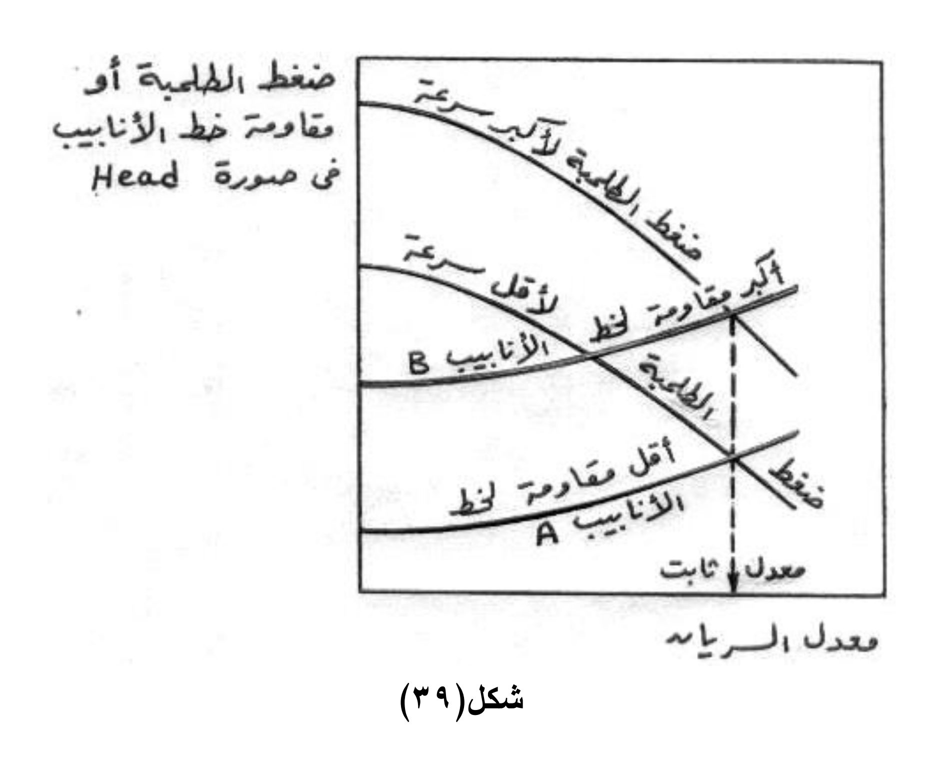
* يوضح شكل(٣٨) أنه يفضل إختيار الطلمبة التى فيها منحنى تغير الضغط مع المعدل له درجة ميل كبيرة بمعنى أن المعدل يتغير فى مدى بسيط عندما يتغير الضغط نتيجة الزيادة أو النقصان فى المقاومة الكلية لخط الأنابيب وذلك لعدم البعد كثيراً فى التشغيل عن نقطة أحسن كفاءة

* لتحقيق معدل ثابت للطلمبة فى هذه الحالة يمكن تغيير سرعة الطلمبة كما يتضح من شكل(٣٩)

* إذا تعذر الوصول إلى هذا الأداء لأى سبب فإنه يفضل فى هذه الحالة إختيار أكثر من طلمبة يتم توصيلهم على التوالى أو على التوازى أو الإثنان معاً وبذلك نصل إلى مدى واسع لمتطلبات التشغيل بكفاءة عالية نظراً لإمكانية الإختيار والتبديل بين الطلمبات

* تتميز الطلمبات المتعددة فى محطة الضخ بتوافر طلمبات إحتياطية للخدمة الطارئة أثناء فترات التوقف المطلوبة للصيانة والإصلاح

شكل(٣٨)



شكل(٣٩)

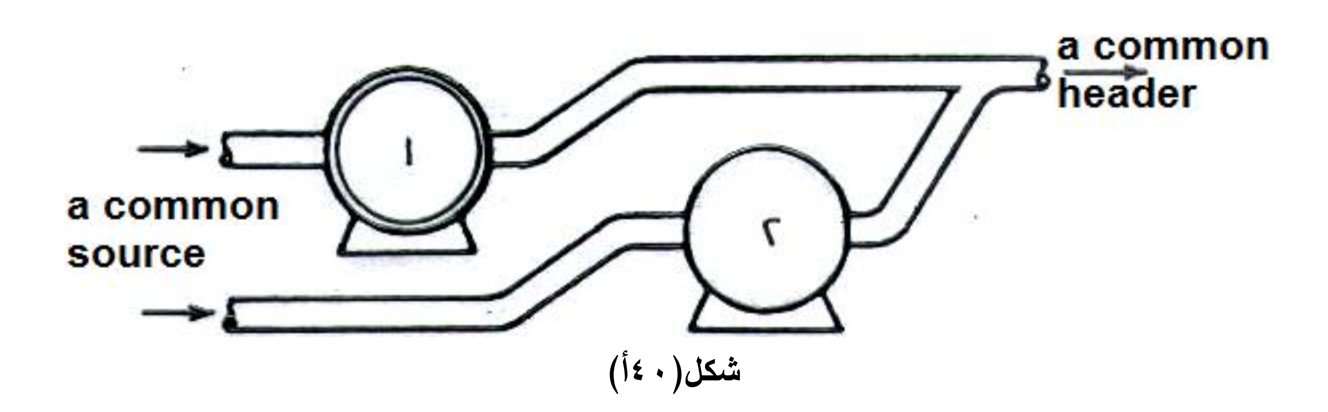
٣- عند تغير الكمية المنقولة

* يمكن تشغيل طلمبتين أو أكثر على التوازى لتحقيق متطلبات المعدل المتغير (الكمية المتغيرة) بزيادة الكمية المنقولة خلال خط أنابيب محدد عن تلك التى تعطيها الطلمبات المنفردة

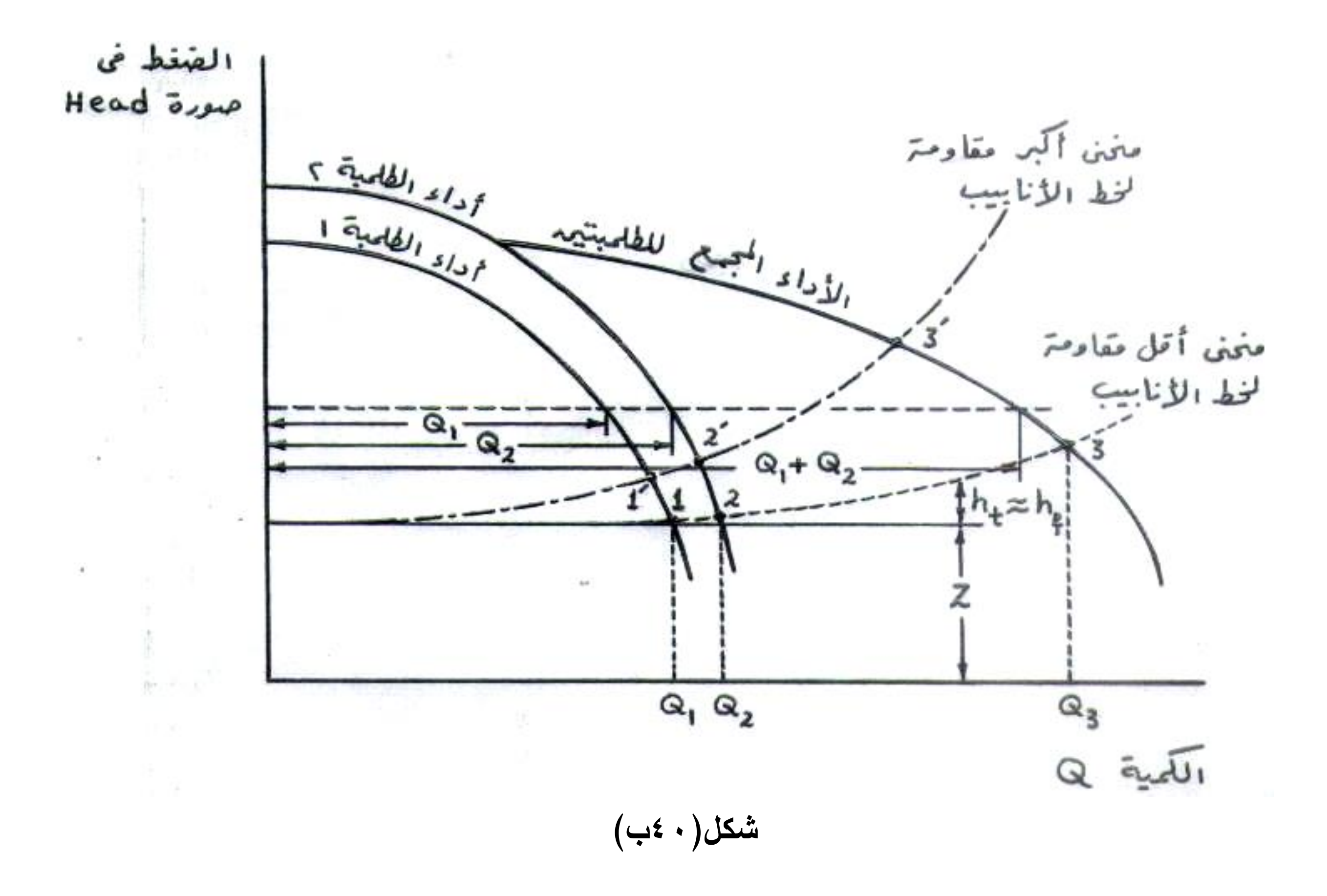
* يمكن أن تكون الطلمبات متماثلة(منحنى تغير الضغط مع الكمية للطلمبات متماثل)

* يمكن أن تكون الطلمبات غير متماثلة(منحنى تغير الضغط مع الكمية للطلمبات غير متماثل) أى تكون الطلمبة رقم١ أصغر من الطلمبة رقم٢ بمعنى أن الطلمبة١ تعطى ضغط(فى صورة Head) أقل من الضغط(فى صورة Head) الذى تعطيه الطلمبة٢

* ينبغى التأكد من تشغيل الطلمبات على الجزء المستقر Steady من منحنى تغير الضغط مع الكمية أى الجزء الذى يقل فيه الضغط بزيادة الكمية وذلك للطلمبات التى لها أداء غير مستقر Unsteady or Transient وذلك حتى لا يحدث إضطراب أثناء تشغيل الطلمبات



شكل(٤٠أ)



شكل(٤٠ب)

* يتم توقيع منحنى الأداء المجمع لطلمبتين على التوازى بتثبيت قيم الضغط وجمع قيم المعدل كما يتضح من الأشكال(٤٠ أ،ب)

* تكون نقطة التشغيل هى نقطة تقاطع منحنى مقاومة خط الأنابيب مع منحنى الأداء المجمع للطلمبتين

* يمكن تغيير المعدل بتغيير ضغط الطلمبة(عن طريق الخنق على بلف الطرد) أو بتغيير سرعة الطلمبة أو الإثنين معاً وبالتالى يمكن تحقيق نقاط تشغيل إضافية

* يمكن حساب الكفاءة الكلية للطلمبات التى تعمل على التوازى من المعادلة

$$\eta = \frac{sp.gr.\ H}{270} \times \frac{\sum Q}{\sum HP}$$

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل

H : الضغط فى صورة Head بالمتر

$\sum$Q : مجموع معدلات السريان للطلمبات بالمتر^3/ساعة

$\sum$HP : القدرة الكلية المعطاه لكل الطلمبات بالحصان(Metric)

* إذا كانت الطلمبات التى تعمل على التوازى متماثلة يمكن إفتراض أن الكفاءة الكلية للطلمبات هى نفس كفاءة الطلمبة الواحدة

٤ – عند تغير الضغط المطلوب

* يمكن تشغيل طلمبتين أو أكثر على التوالى لتحقيق متطلبات الضغوط الأعلى من تلك التى تعطيها الطلمبات المنفردة وذلك لتحقيق أداء محدد مطلوب خلال نظام ضخ معين

* يمكن أن تكون الطلمبات متماثلة(منحنى تغير الضغط مع الكمية للطلمبات متماثل)

* يمكن أن تكون الطلمبات غير متماثلة(منحنى تغير الضغط مع الكمية للطلمبات غير متماثل) أى تكون الطلمبة رقم١ أصغر من الطلمبة رقم٢ بمعنى أن الطلمبة١ تعطى ضغط(فى صورة Head) أقل من الضغط(فى صورة Head) الذى تعطيه الطلمبة٢

* يشترط أن يكون معدل الطلمبة١(المناولة) أكبر من أو يساوى على الأقل معدل الطلمبة٢(الرئيسية)

* يتم توقيع منحنى الأداء المجمع لطلمبتين على التوالى بتثبيت قيم المعدل وجمع قيم الضغط كما يتضح من الأشكال(٤١أ،ب)

* تكون نقطة التشغيل هى نقطة تقاطع منحنى مقاومة خط الأنابيب مع منحنى الأداء المجمع للطلمبتين

* يمكن تغيير الكمية بواسطة الخنق على طرد الطلمبة أو بتغيير سرعة الطلمبة أو الإثنين معاً وبالتالى يمكن تحقيق نقاط تشغيل إضافية

* يمكن حساب الكفاءة الكلية للطلمبات التى تعمل على التوالى من المعادلة

$$\eta = \frac{sp.gr.\,Q}{270} \times \frac{\sum H}{\sum HP}$$

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل

Q : معدل السريان بالمتر^3/ساعة

$\sum$H : مجموع الضغوط التى تعطيها الطلمبات فى صورة Head بالمتر

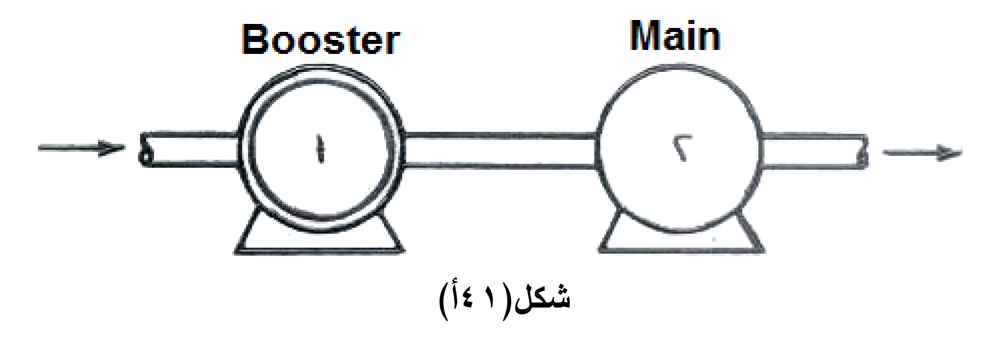
$\sum$HP : القدرة الكلية المعطاه لكل الطلمبات بالحصان(Metric)

* إذا كانت الطلمبات التى تعمل على التوالى متماثلة يمكن إفتراض أن الكفاءة الكلية للطلمبات هى نفس كفاءة الطلمبة الواحدة

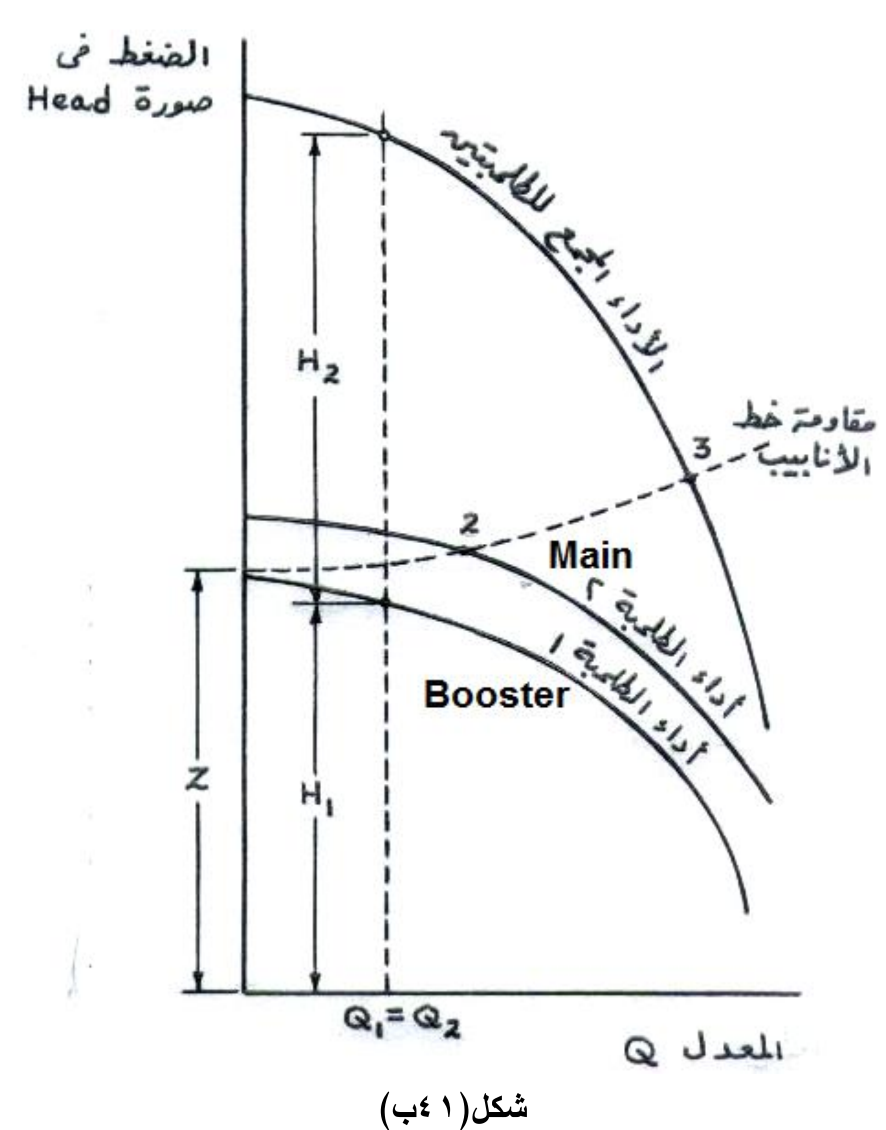
* ضغط صندوق الحشو Stuffing Box للطلمبة الثانية يزداد بقيمة ضغط الطرد للطلمبة الأولى وقد يتطلب ذلك صندوق حشو خاص للطلمبة الثانية مع تسرب إلى سحب الطلمبة الأولى وقد يتسبب ضغط السحب الأعلى فى زيادة كلاً من التكاليف الأولية(الثمن الأساسى) وتكاليف الصيانة للطلمبة الثانية

* تقوم الشركات المنتجة للطلمبات بتحديد الحد الأقصى لضغط السحب لبعض الطلمبات وهو يكون فى حدود ٢,٥ كجم/سم^2 وذلك لمعظم الطلمبات المناولة Low-Head Pumps التى تسحب من خزان ، أى للطلمبات التى يمكن أن يصل ضغط السحب لها إلى أقل من الضغط الجوى(تفريغ Vacuum) ، وفى حالة تركيب هذه الطلمبات للسحب من خط به ضغط يراعى ألا يزيد ضغط السحب الداخل على الطلمبة عن ١,٥ : ٢ بار ويتم ذلك بتركيب بلف تخفيض للضغط على خط سحب الطلمبة

Pressure Reducing Valve



شكل(١٤أ)



شكل(١٤ب)

٥ – نقل البترول ومنتجاته بخطوط الأنابيب الطويلة

* تتطلب هذه الحالة ضغوط مرتفعة نسبياً من الطلمبة للتغلب على المقاومة المرتفعة لخط الأنابيب وذلك لإمرار الكمية المطلوبة

* حيث أن تصميم مروحة المرحلة الأولى للطلمبات التى تعطى ضغوط مرتفعة نسبياً
(High-Head Pump)
يتقيد بقيمة معينة لإنخفاض الضغط الديناميكى
Dynamic Head Depression (Required NPSH)
قد تكون مرتفعة نسبياً نتيجة إرتفاع الضغط الذى تعطيه الطلمبة فى صورة Head بالمتر ، لذلك يجب أن يكون الحد الأدنى لضغط السحب لهذه الطلمبات حوالى٢ كجم/سم^{٢} فى معظم الأحوال ، ومن هنا ظهرت الحاجة إلى ضرورة وجود طلمبة ذات ضغط منخفض(Low-Head Pump) بمحطة الدفع الأولى فى بداية خط الأنابيب لكى يتم سحب السائل من الخزان بواسطة هذه الطلمبة ودفع السائل إلى مدخل الطلمبة ذات الضغط العالى(High-Head Pump) التى تقوم بدفع السائل داخل نقطة بداية خط الأنابيب وبعد مسافة معينة على طول خط الأنابيب يتم رفع الضغط مرة أخرى عن طريق طلمبة رفع بينية(High-Head Pump) وهكذا حتى خزان محطة الإستلام Terminal(الموجودة فى نهاية خط الأنابيب)

* يطلق أحياناً على الطلمبة ذات الضغط المنخفض(Low-Head Pump)
طلمبة مناولة Booster Pump

* يطلق أحياناً على الطلمبة ذات الضغط العالى(High-Head Pump)
طلمبة رئيسية Primary Pump

* فى هذه الحالة يفضل أن يكون معدل السريان للطلمبة المناولة(Low-Head Pump) أكبر من معدل السريان للطلمبة الرئيسية(High-Head Pump) بقيمة حوالى ١٠٠ م^{٣}/ساعة

* فى معظم الأحوال يجب أن تكون سرعة دوران الطلمبة المناولة(التى تسحب البترول من مستودعات التخزين) منخفضة وأقل من سرعة دوران الطلمبة الرئيسية وذلك لتخفيض قيمة Required NPSH للطلمبة وبالتالى تحسين ظروف السحب للطلمبة المناولة أى أنه بالنسبة للطلمبات التي تستخدم المحركات الكهربائية كمحرك أساسى Prime mover تكون سرعة دوران الطلمبة المناولة فى حدود ١٥٠٠ لفة/دقيقة أما سرعة دوران الطلمبة الرئيسية تكون فى حدود ٣٠٠٠ لفة / دقيقة(يمكن الرجوع إلى ملحق١ للتوضيح)

* فى بعض الحالات يمكن ضبط جهاز حماية الطلمبة المناولة من إنخفاض ضغط السحب على القيم الآتية:

(– ٠,٢٠ كجم/سم^{٢} Alarm) ، (– ٠,٢٥ كجم/سم^{٢} Shutdown)

(يمكن الرجوع إلى تطبيق١ بملحق١ للتوضيح)

* مدى ضغط الطرد للطلمبات المناولة(Low-Head Pumps) التى تسحب من خزان يتراوح بين(صفر: ١٨) كجم/سم^{٢} وفى هذه الحالة يمكن ضبط جهاز حماية الطلمبة من إرتفاع ضغط الطرد على القيم الآتية:

(١٧ كجم/سم^{٢} Alarm ، ١٨ كجم/سم^{٢} Shutdown)

* يمكن ضبط جهاز حماية الطلمبات الرئيسية(High-Head Pumps) من إنخفاض ضغط السحب على القيم الآتية:

(٣ كجم/سم^{٢} Alarm ، ٢,٥ كجم/سم^{٢} Shutdown)

* يمكن ضبط جهاز حماية الطلمبات الرئيسية(High-Head Pumps) وخط الأنابيب من إرتفاع ضغط الطرد على على القيم الآتية:

(٦٩ كجم/سم^{٢} Alarm ، ٧٠ كجم/سم^{٢} Shutdown)

وذلك فى حالة أن يكون ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب فى حدود ٧٠ كجم/سم^{٢}

* يفضل أن تكون قيمة NPSH للطلمبة المناولة منخفضة بدرجة كافية لسحب السائل حتى أدنى منسوب بالخزان بدون حدوث تكهف للطلمبة .

٦- نموذج لمجمع بلوف إستلام البترول على المستودعات ونماذج لمحطات التدفيع(الرفع) الرئيسية والبينية

* يوضح شكل(٤٢أ) نموذج لمجمع بلوف إستلام البترول على مستودعات التخزين(عدد١٣مستودع) بإحدى محطات إستلام البترول ومنتجاته المختلفة الموجودة فى نهاية خط الأنابيب Terminal

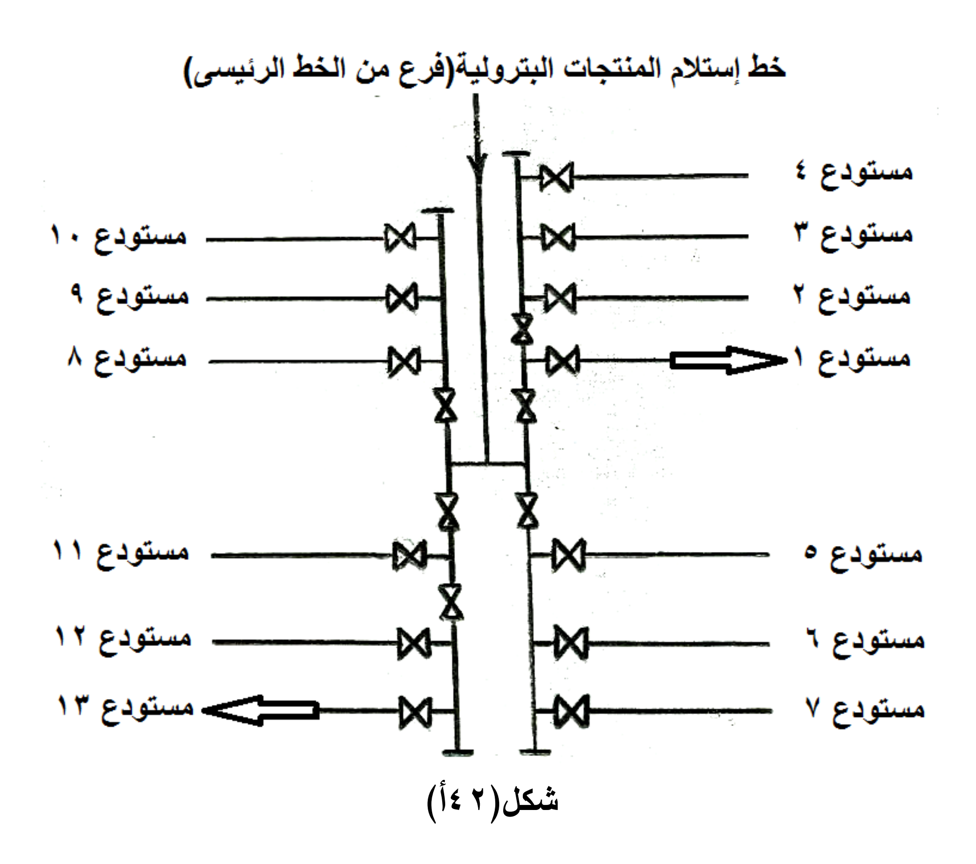
* يسمح هذا النموذج بإستلام عدد٤ منتجات أساسية مختلفة من خلال عدد٤ مجموعات أساسية للمستودعات:

المجموعة أ: مستودعات أرقام ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤(يمكن إستخدام مستودع رقم١ لتخزين منتج من نفس نوع المنتج الأساسى للمجموعة أ ولكن بمواصفات مختلفة)

المجموعة **ب**: مستودعات أرقام ٥ ، ٦ ، ٧

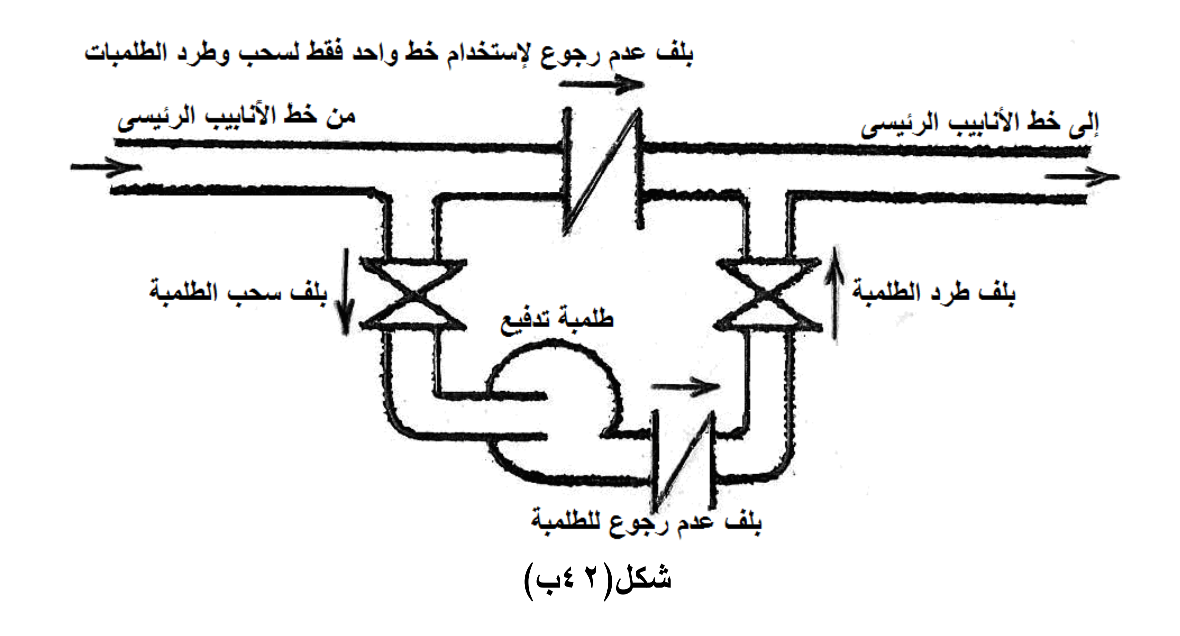
المجموعة ج: مستودعات أرقام ٨ ، ٩ ، ١٠

المجموعة د: مستودعات أرقام ١١ ، ١٢ ، ١٣(يمكن إستخدام مستودع رقم١١ لتخزين منتج من نفس نوع المنتج الأساسى للمجموعة د ولكن بمواصفات مختلفة)



شكل(٤٢أ)

* يوضح شكل(٤٢ب) طريقة تركيب بلوف عدم الرجوع Non-Return Valves لطلمبة تدفيع تعمل على خط أنابيب رئيسى



شكل(٤٢ب)

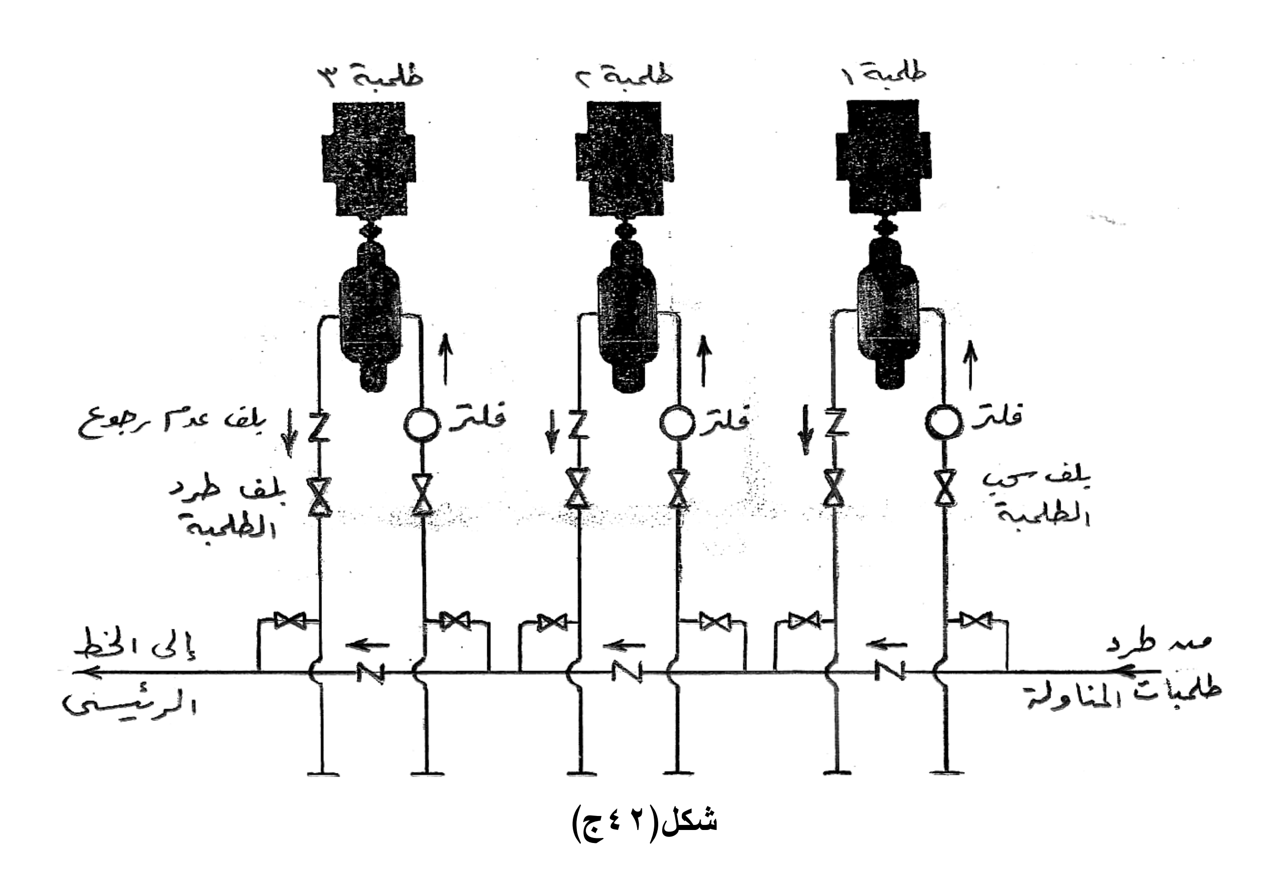
* يوضح شكل(٤٢ج) نموذج شبكة تدفيع لعنبر طلمبات رئيسية(High-Head Pumps) يحتوى على٣ طلمبات بإحدى محطات الدفع الأولى فى بداية خط الأنابيب وذلك من خلال خط أنابيب رئيسى واحد بإستخدام خط واحد فقط(مركب عليه بلوف عدم رجوع) لسحب وطرد الطلمبات وهو نفس الخط الوارد من طرد طلمبات المناولة(Low-Head Pumps)

* يسمح هذا النموذج بتشغيل الطلمبات بالإمكانيات الآتية:

أ- كل طلمبة على حده

ب- كل طلمبتين على التوالى بصرف النظر عن ترتيبهم

ج- التدفيع بطلمبات المناولة إلى الخط الرئيسى فى إتجاه واحد دون الدخول على الطلمبات الرئيسية



شكل(٤٢ج)

* يوضح شكل(٢٤د) نموذج لمحطة تدفيع(رفع) بينية تحتوى على٣ طلمبات رئيسية (High-Head Pumps) وذلك من خلال خط أنابيب رئيسى واحد بإستخدام خط واحد فقط(مركب عليه بلوف عدم رجوع) لسحب وطرد الطلمبات

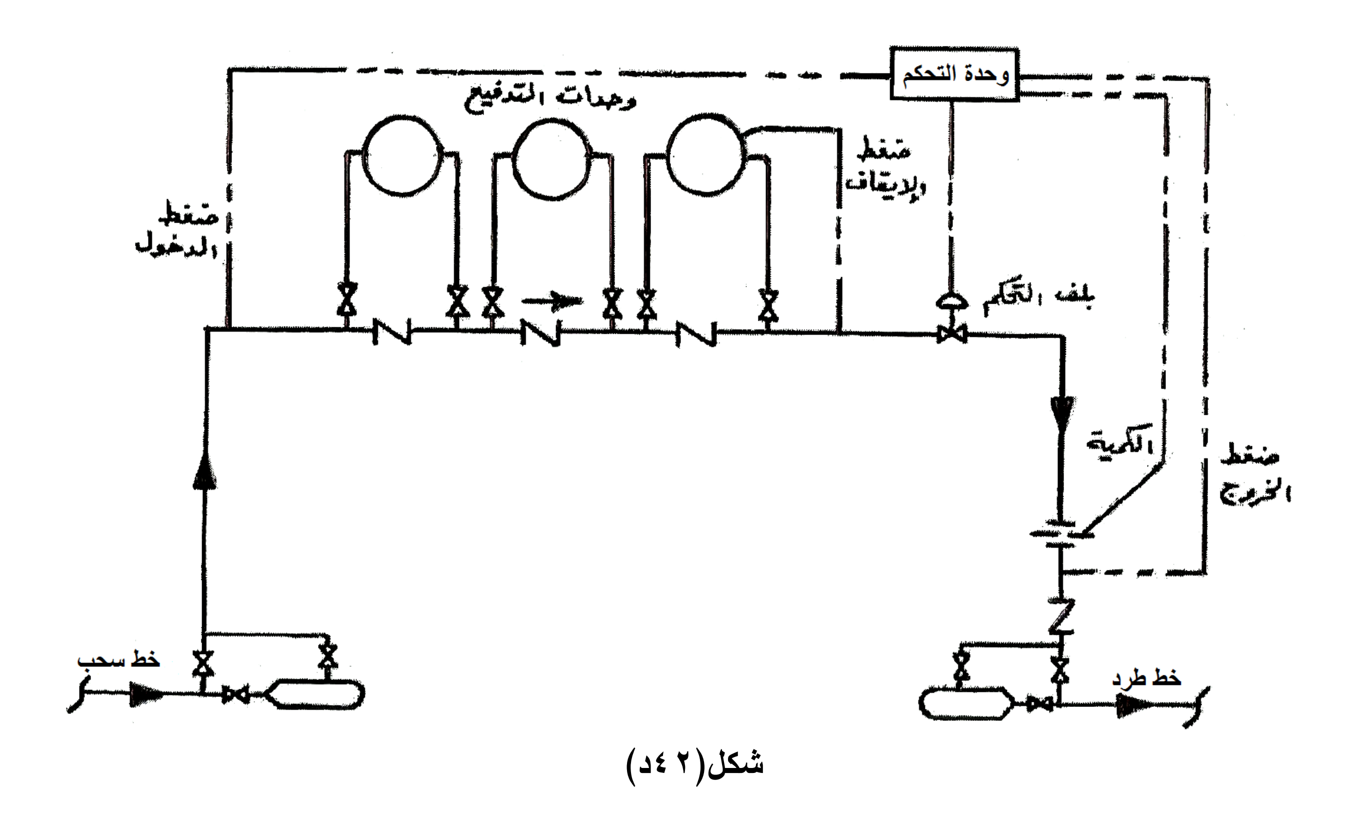
* يسمح هذا النموذج بتشغيل الطلمبات بالإمكانيات الآتية:

أ- كل طلمبة على حده

ب- كل طلمبتين على التوالى بصرف النظر عن ترتيبهم

ج- سريان السائل بالخط الرئيسى فى إتجاه واحد دون الدخول على الطلمبات نهائياً

* يوضح الشكل(٢٤د) نظرية عمل محطة الرفع البينية ويطلق عليه مخطط شبكة الخطوط والأجهزة (P&I Diagram) أى Piping & Instrumentation Diagram



شكل(٢٤د)

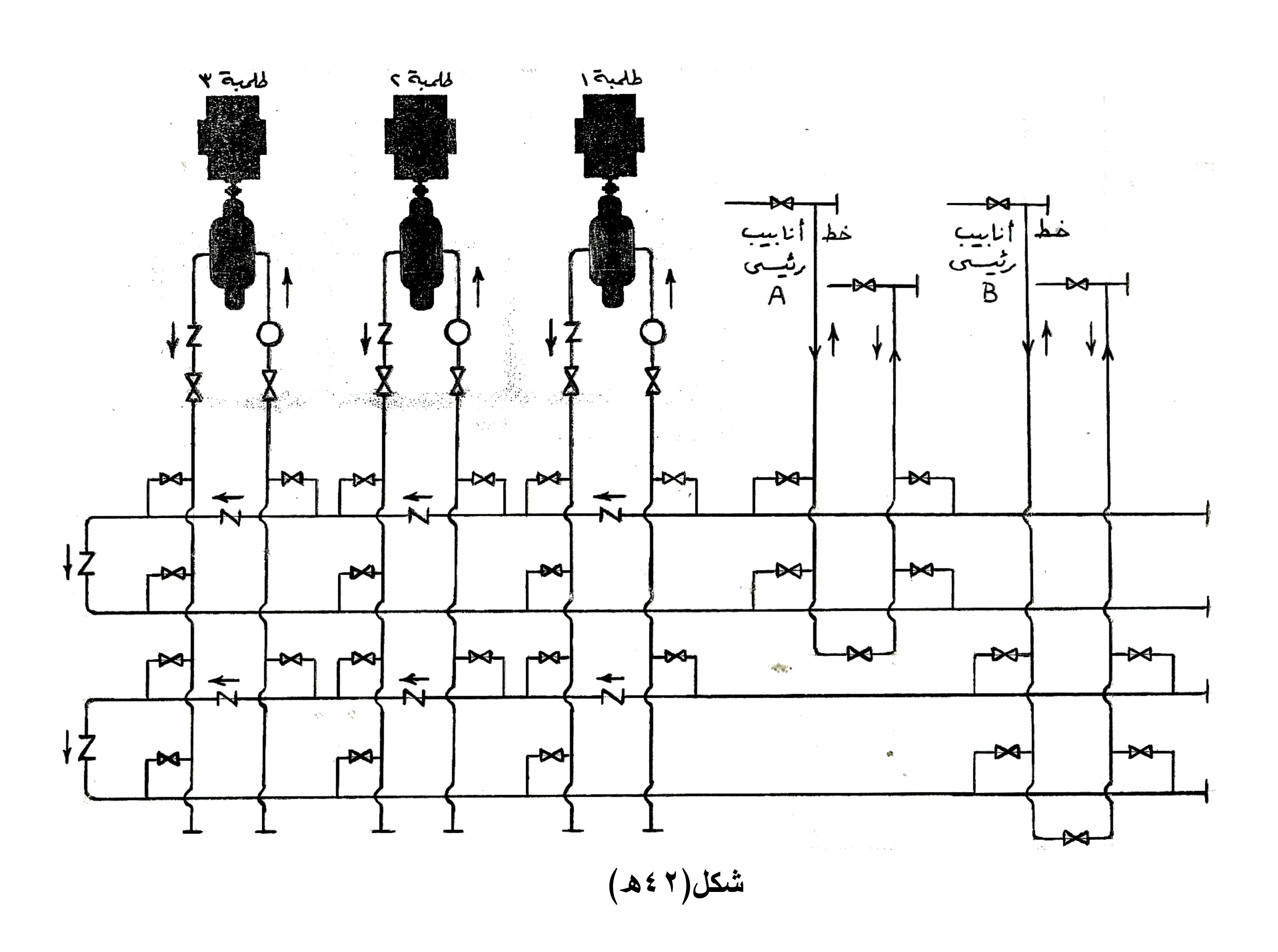
* يوضح شكل(٤٢هـ) نموذج لمحطة تدفيع(رفع) بينية تحتوى على٣ طلمبات رئيسية (High-Head Pumps) وذلك من خلال عدد٢ خط أنابيب رئيسى A&B

* يسمح هذا النموذج بتشغيل الطلمبات بالإمكانيات الآتية:

أ- التدفيع فى إتجاهين بالخطين الرئيسيين A&B فى نفس الوقت بطلمبة واحدة

ب- التدفيع فى إتجاهين بإحدى الخطين بطلمبتين توالى أو بطلمبتين توازى بصرف النظر عن ترتيبهم وفى نفس الوقت التدفيع فى إتجاهين بالخط الآخر بطلمبة واحدة

ج- سريان السائل فى إتجاهين بالخطين الرئيسيين A&B دون الدخول لشبكة الخطوط الداخلة على الطلمبات وبالتالى دون الدخول على الطلمبات



شكل(٤٢هـ)

٧- حدوث تغير فى كثافة ولزوجة السائل أثناء نقل البترول ومنتجاته بخطوط الأنابيب الطويلة

* يجب أن تعمل جميع محطات الرفع البينية بالمعدل الذى تعمل به أبطأ محطة رفع ، لذلك تستخدم عادة الطلمبات الطاردة المركزية فى مثل هذه الحالات

* يتبين ثبات أو تقارب قيم اللزوجة فى معظم تطبيقات نقل البترول ومنتجاته بخطوط الأنابيب الطويلة

* تتسبب ظروف التشغيل المختلفة فى حدوث النتائج الآتية:

أ- يكون فاقد الضغط بين محطات الرفع البينية ثابت إذا كانت محطة الرفع الأولى تنقل زيت خفيف (له كثافة أقل) ويكون السائل الموجود بين محطات الرفع البينية له نفس اللزوجة والكثافة

ب- بمجرد دخول الزيت الأثقل(له كثافة أكبر) لمحطة الرفع الأولى تعطى الطلمبات الطاردة المركزية ضغط أكبر ويتسبب ذلك فى زيادة الكمية المنقولة(حتى يتعادل فاقد الإحتكاك بسبب دفع الزيت الأثقل مع الضغط الزائد وبالتالى زيادة الحمل على عمود الطلمبة(زيادة قدرة تشغيل الطلمبة) وذلك إذا كانت المحطة تعمل عند ضغط أقل من أقصى ضغط تشغيل آمن يتحمله معدن الخط كما يتضح من شكل(٤٣)

ج- أما إذا كانت محطة الرفع الأولى تعمل عند أقصى ضغط تشغيل آمن يتحمله معدن الخط يجب الخنق على طرد الطلمبة وذلك للحفاظ على قيمة أقصى ضغط تشغيل آمن يتحمله معدن الخط مما يتسبب فى زيادة الحمل على عمود الطلمبة(زيادة قدرة تشغيل الطلمبة) بدون أى زيادة للكمية المنقولة كما يتضح من شكل(٤٤)

يتضح مما سبق أهمية وجود طلمبة صغيرة واحدة على الأقل(تعطى ضغط أقل من الطلمبات الكبيرة الأخرى) الموجودة بمحطة الرفع الأولى وحينئذ عند دخول الزيت الأثقل(له كثافة أكبر) لمحطة الرفع يمكن تشغيل الطلمبة الأصغر(التى تعطى ضغط أقل) بدلا من الطلمبة الكبيرة(التى تعطى ضغط أكبر) وبذلك يمكن تلاشى القدرة المفقودة فى خنق الضغط الزائد وبالتالى تلاشى كلاً من إنخفاض الكفاءة وإرتفاع تكاليف التشغيل للطلمبة الكبيرة

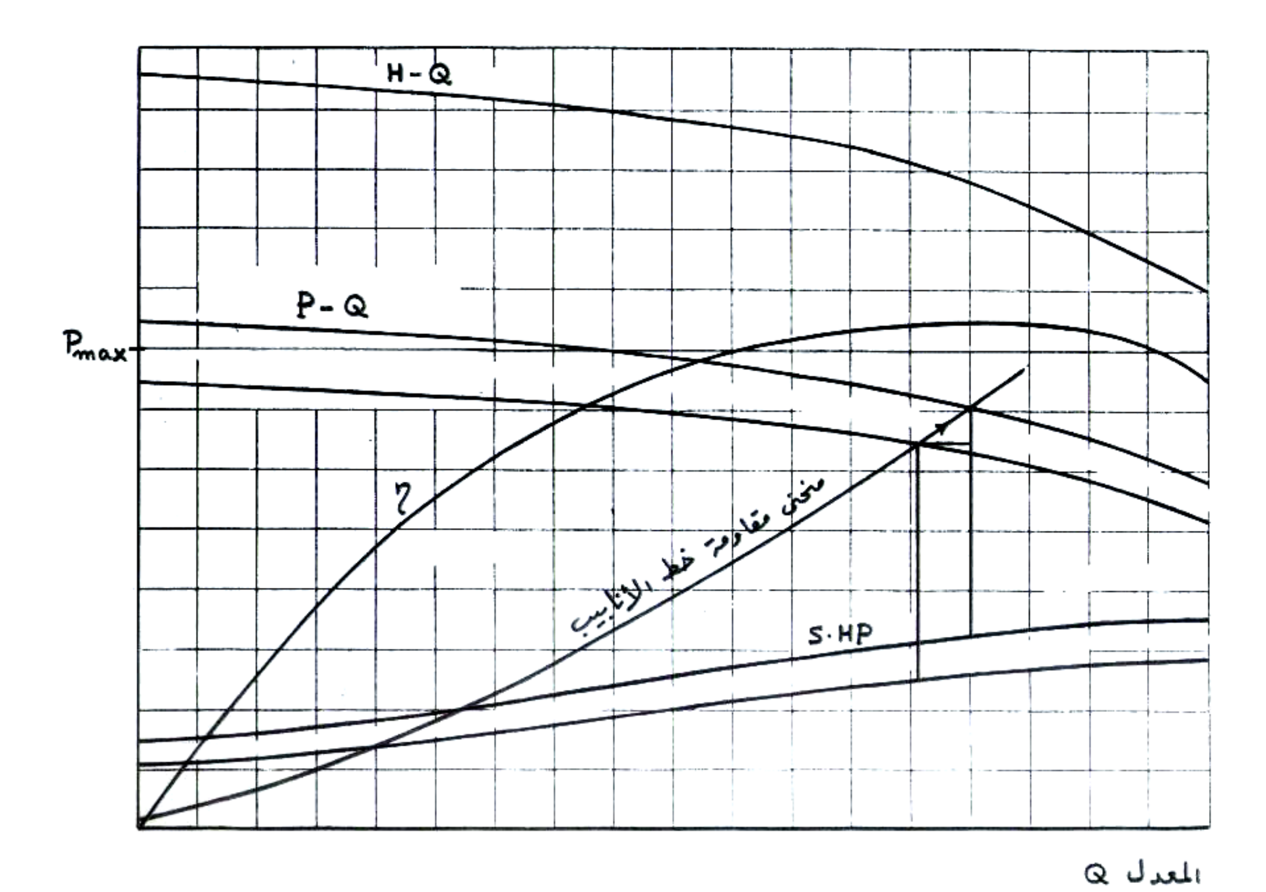
* يتضح أيضاً أهمية وجود طلمبة صغيرة واحدة على الأقل(تعطى ضغط أقل من الطلمبات الكبيرة الأخرى) بمحطة الرفع الأولى ، حيث أنه بمجرد تحويل التدفيع من الخط الرئيسى الطوالى إلى خطوط التوزيع لتغذية أحد أو بعض المستهلكين ترتفع مقاومة خط الأنابيب ويتسبب ذلك فى إنخفاض الكمية المنقولة ، إرتفاع ضغط الطلمبة وإنخفاض كفاءة الطلمبة وذلك إذا كانت المحطة تعمل عند ضغط أقل من أقصى ضغط تشغيل آمن يتحمله معدن الخط كما يتضح من شكل(٤٥)

* أما إذا كانت المحطة تعمل عند أقصى ضغط تشغيل آمن يتحمله معدن الخط يجب الخنق على طرد الطلمبة وذلك للحفاظ على قيمة أقصى ضغط تشغيل آمن يتحمله معدن الخط كما يتضح من شكل(٤٦) مما يتسبب فى إنخفاض الكمية المنقولة ، إرتفاع ضغط الطلمبة وإنخفاض كفاءة الطلمبة مما ينتج عنه إرتفاع تكاليف التشغيل للطلمبة الكبيرة ، وفى هذه الحالة يمكن تشغيل الطلمبة الأصغر بدلاً من الطلمبة الكبيرة وبذلك يمكن تلاشى القدرة المفقودة فى خنق الضغط الزائد وبالتالى تلاشى كلاً من إنخفاض الكفاءة وإرتفاع تكاليف التشغيل للطلمبة الكبيرة

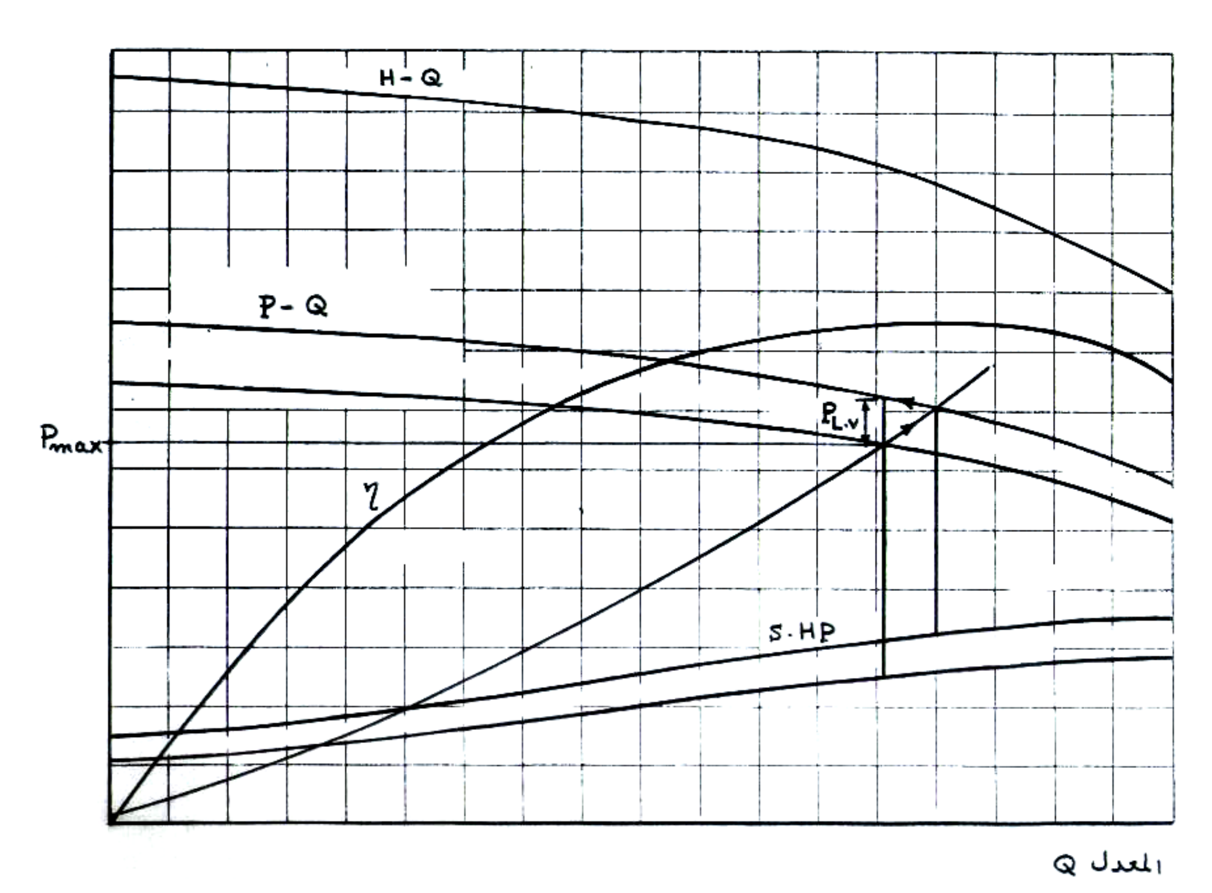
* فى محطات الرفع التى تعمل بمحركات الديزل أو التوربينات الغازية يمكن تحقيق متطلبات التشغيل المختلفة(الكميات والضغوط) بواسطة التحكم فى سرعة الدوران للطلمبات العاملة بالمحطة دون الحاجة إلى تركيب طلمبات أصغر

* تخفيض المعدل لمحطة الرفع الأولى يؤثر على جميع المحطات البينية الأخرى بسبب إنخفاض ضغط السحب لهذه المحطات ، وفى حالة ما إذا كانت هذه المحطات تعمل عند الحد الأدنى لضغط السحب يجب الخنق عليها للحفاظ على قيمة الحد الأدنى لضغط السحب

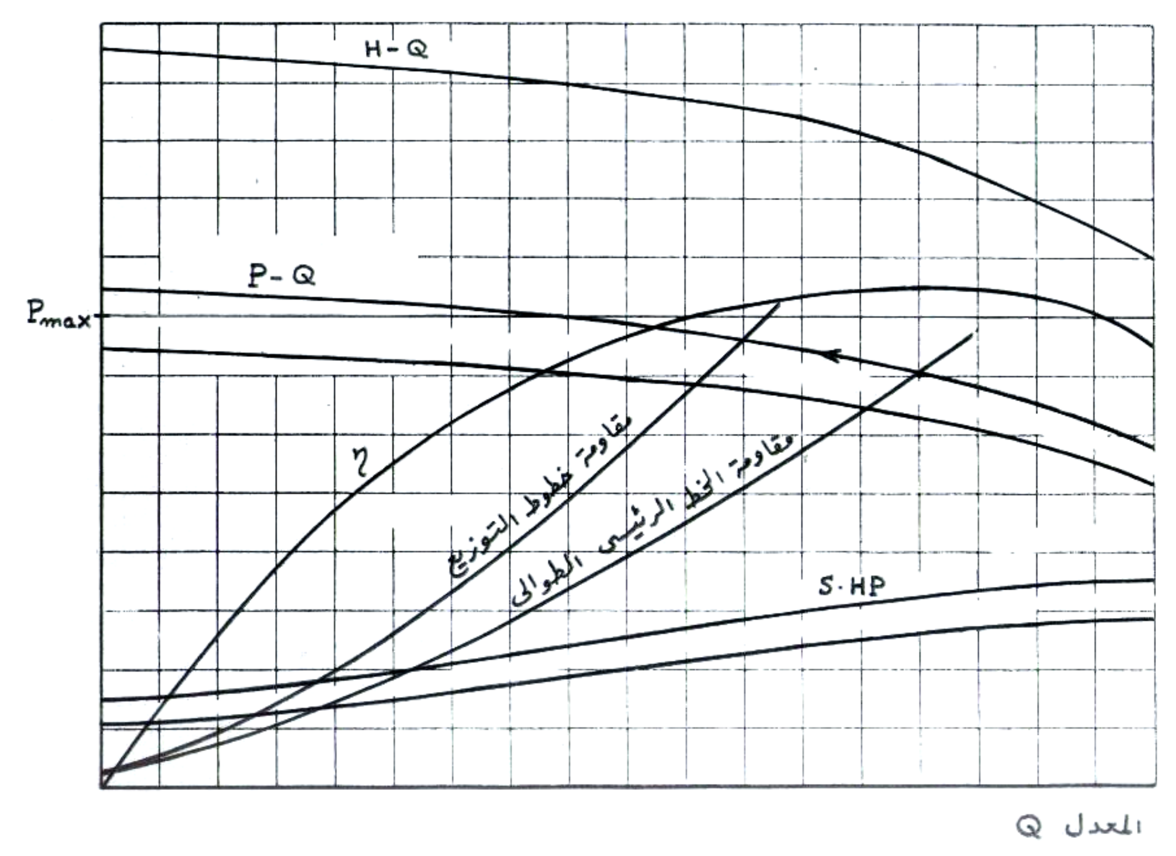
* المحطات التى تسبق المحطة الأبطأ(ذات المعدل الأقل) سوف يزداد ضغط الطرد بها وبالتالى يزداد ضغط السحب لها مما يتسبب فى إنخفاض معدلات الدفع لهذه المحطات ، لذلك يجب أن تبدأ هذه المحطات فى الخنق عندما يصل ضغط الطرد إلى أقصى ضغط تشغيل آمن يتحمله معدن الخط

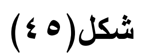

H - Q
P - Q
Pmax
η
منحنى مقاومة خط الانابيب
S.HP
المعدل Q

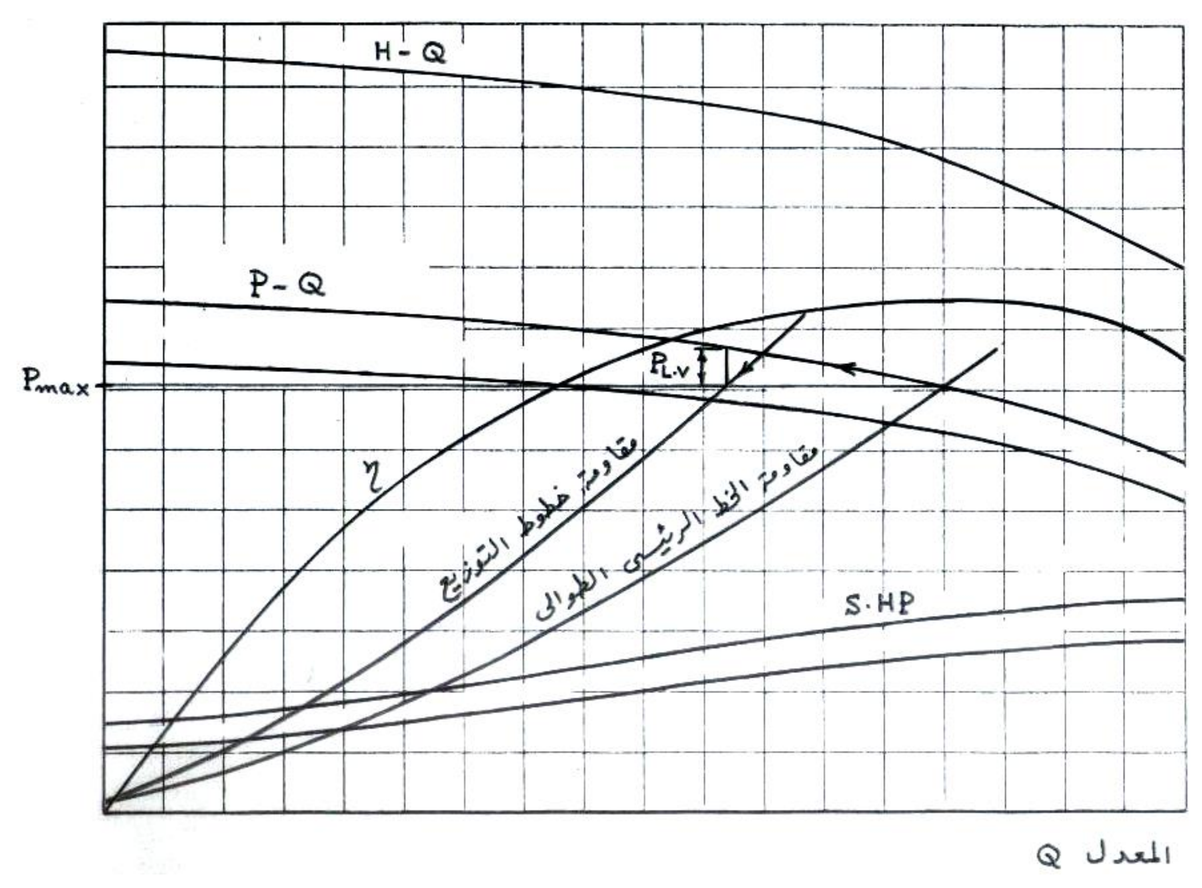
شكل(٤٣)


H - Q
P - Q
Pmax
PL.V
η
S.HP
المعدل Q

شكل(٤٤)


H - Q
P - Q
Pmax
η
مقاومة خطوط التوزيع
مقاومة الخط الرئيسى الطوالى
S·HP
المعدل Q


شكل(٤٥)


H - Q
P - Q
Pmax
PL·V
η
مقاومة خطوط التوزيع
مقاومة الخط الرئيسى الطوالى
S·HP
المعدل Q

شكل(٤٦)

ملحق(١)

الحسابات الهيدروليكية لتحديد المستوى المناسب لتركيب الطلمبات المناولة (Low-Head Pumps) بالنسبة لأقل منسوب للسائل بالخزان

تطبيق١ : حساب منسوب تركيب الطلمبة بالنسبة لأقل مستوى للسائل بالمستودع

* إفترض وجود مستودع لتخزين البنزين سعة ١٠٠٠٠ م٣

* نظام السحب عبارة عن خط قطره ٢٠" وسمكه ٠,٣٧٥" وطوله حوالى١١٠ متر يصل بين المستودع وعنبر الطلمبات المناولة

* معدل الطلمبة المناولة يساوى ٥٠٠ م٣/ساعة

* بإفتراض أن الكثافة النسبية للبنزين(sp.gr) = ٠,٧٣ ولزوجة البنزين(γ) = ٠,٨٤ سنتى ستوك وأن الضغط البخارى للبنزين(P_{vap}) = ٠,٥٦ كجم /سم٢ عند درجة الحرارة ١٠٠ ^{o}ف(٣٧,٨ ^{o}م)

* مطلوب تحديد مستوى تركيب الطلمبة بالنسبة لمستوى قاع المستودع وذلك لسحب المنتج من المستودع حتى الحد الأدنى لمنسوب المنتج بالمستودع وذلك بدون حدوث تكهف Cavitation للطلمبة

نحسب الـ Available NPSH كالآتى:

* نحسب $(H_{atm} – H_{vap})$

For Gasoline $$H_{vap} = P_{vap}(kg/cm^2) \times \frac{10}{sp.gr} \quad mt$$

$$= 0.56\ (10/0.73) = 7.67\ mt$$

$$H_{atm} = 1.03(10/0.73) = 14.11\ mt\ gasoline$$

$$(H_{atm} – H_{vap}) = 14.11 – 7.67 = 6.44\ mt$$

* نحسب سرعة السريان بخط السحب V_s علماً بأن معدل الطلمبة هو(٥٠٠ م٣/ساعة) سوف يمر بخط السحب قطر ٢٠" ، القطر الداخلى لخط السحب يساوى $D_i = 20 – 2(0.375'') = 19.25''$

$$V_s = \frac{Q}{1.824\,D_i^2} = \frac{500}{1.824\,(19.25)^2} = 0.74\ mt/\sec$$

* نحسب طاقة حركة السائل بخط السحب وهى تساوى $\frac{V_S^{\,2}}{2g} = \frac{(0.74)^2}{2\times 9.81} = 0.028\ mt$

* نحسب الفواقد الكلية بخط السحب H_{LS} وهى عبارة عن فاقد الإحتكاك Friction Losses (H_F) مضافاً إليه الفواقد الثانوية Minor Losses (H_S) وبإفتراض أن مجموع معاملات الفواقد الثانوية بخط السحب يساوى $K = 10$

$$H_{LS} = H_F + H_S$$

$$H_{LS} = 50.22095\frac{\gamma^{0.25} l V_S^{\,1.75}}{D_i^{\,1.25}} + K\frac{V_S^{\,2}}{2g}$$

$$H_{LS} = 0.08 + 0.28 = 0.36 \text{ mt}$$

* يتبين من القيم السابقة لفاقد الإحتكاك(H_F) والفواقد الثانوية(H_S) أنه يجب عدم إهمال الفواقد الثانوية بخطوط سحب الطلمبات نظراً لكبرها بالنسبة إلى فاقد الإحتكاك

* بالرجوع إلى ظاهرة التكهف Cavitation فى الطلمبات بالباب الخامس نحسب المقدار الصافى لضغط السحب الموجب المتاح بنظام السحب Available NPSH بدلالة هيد السحب الإستاتيكى Static Suction Head(H_{SS}) وهو يساوى

$$Available NPSH = \left(H_{atm} - H_{vap}\right) + \left(H_{SS} - H_{LS} - \frac{Vs^2}{2g}\right)$$
$$= 6.44 + (H_{ss} - 0.36 - 0.028)$$
$$= 6.44 + (H_{ss} - 0.388)$$
$$= 6.052 + H_{ss}$$

* لعدم حدوث تكهف Cavitation بالطلمبة يجب أن يكون المقدار الصافى لضغط السحب الموجب المتاح بنظام السحب Available NPSH أكبر من المقدار الصافى لضغط السحب الموجب للطلمبة Required NPSH

$$\text{Available NPSH} > \text{Required NPSH}$$
$$6.052 + H_{ss} > \text{Required NPSH}$$

* فى حالة أن(Required) NPSH للطلمبة يساوى ٢,٤٦ متر يكون $H_{ss} > -3.59$ mt

حيث H_{ss}(هيد السحب الإستاتيكى السالب) Static Suction Lift وهو يساوى فرق المنسوب بين المستوى القياسى للطلمبة وأقل مستوى للسائل بالمستودع ويمكن الرجوع إلى الأشكال ٣٤أ، ب،ج(الباب الخامس) للتوضيح

* يمكن تركيب الطلمبة فى مستوى أعلى من مستوى قاع المستودع بحيث تكون المسافة الرأسية بين المستوى القياسى للطلمبة ومستوى قاع المستودع أقل من ٣,٥٩ متر

* فى هذه الحالة يكون الحد الأدنى لضغط سحب الطلمبة

$$P_{ms} > NPSH\left(\frac{Sp.gr}{10}\right) - (P_{atm} - P_{vap})$$
$$P_{ms} > 2.46\left(\frac{0.73}{10}\right) - (1.03 - 0.56)$$
$$P_{ms} > -0.29 \ kg/cm^2$$

* فى هذه الحالة يمكن ضبط جهاز حماية الطلمبة من إنخفاض ضغط السحب على القيم الآتية:

(– ٠,٢٠ كجم/سم^2 Alarm) ، (– ٠,٢٥ كجم/سم^2 Shutdown)

تطبيق٢ : حساب منسوب تركيب الطلمبة بالنسبة لأقل منسوب للسائل فى ماسورة رأسية أو بيارة أسفل مستوى الطلمبة(هيد السحب الإستاتيكى السالب) Static Suction Lift

* يطلق على الطلمبات التي تسحب السائل من منسوب أقل من المستوى القياسى لها والموضح بالأشكال ٣٤أ، ب،ج(الباب الخامس) إسم Suction Lift Pumps

* يجب أن تكون المسافة الرأسية بين المستوى القياسى للطلمبة وأقل منسوب للمياه فى ماسورة رأسية أو بيارة أقل من:

١٠ متر – Required NPSH – (الفواقد الكلية بخط سحب الطلمبة مضاف إليها طاقة حركة السائل بخط سحب الطلمبة)

يتم حساب الفواقد الكلية بخط سحب الطلمبة كالآتى:

بإفتراض أن قطر خط سحب الطلمبة يساوى ٣/٤ بوصة جدول ٨٠ ، يكون القطر الداخلى لخط السحب يساوى "1.05 – 2 (0.154) = 0.742

وبإفتراض أن خط سحب الطلمبة يتكون من ماسورة رأسية طول ١٠ متر وماسورة أفقية طول ٥ متر ، يكون طول خط سحب الطلمبة يساوى ١٥ متر

وبإفتراض أن متوسط سرعة السائل بخط سحب الطلمبة تساوى ١,٥ متر/ثانية

بإستخدام جدول٢(الباب الأول) وبإفتراض أن خط سحب الطلمبة يحتوى على عدد٢ كوع 90^o عادى S.R (K=1.5) وعدد١ وصلة مشتركة Union (K=0.08) وعدد١ محبس كروى(K = 0.1) وعدد١ مصفاة Basket Strainer (K= 1.5) وعدد١ رداخ أعلى المصفاة Foot Valve (K = 0.8) وعدد١ مدخل ملفوف Bell-mouth Inlet or Reducer (K = 0.05) بالإضافة إلى طاقة حركة السائل بخط سحب الطلمبة (K=1) ، يكون مجموع معاملات الفواقد الثانوية يساوى

$$\text{Total } K = 2(1.5)+1(0.08) + 1(0.1) +1 (1.5) +1 (0.8) +1 (0.05) + 1 = 6.53$$

وإعتبار أن السائل المتداول هو الماء لزوجته = ١ سنتى ستوك

نجد أن فاقد الإحتكاك بخط سحب الطلمبة يساوى

$$50.22095\frac{1^{0.25}(0.015)1.5^{1.75}}{0.742^{1.25}} = 2.22\ mt$$

وأيضاً نجد أن الفواقد الثانوية مضافاً إليها طاقة حركة السائل بخط سحب الطلمبة تساوى

$$6.53\frac{V_s^2}{2g} = 6.53\frac{(1.5)^2}{2\times 9.81} = 0.749\ \ mt$$

وتكون الفواقد الكلية بخط سحب الطلمبة مضاف إليها طاقة حركة السائل بخط سحب الطلمبة تساوى

$$0.749 + 2.22 = 2.969 \text{ mt}$$

ويتبين مما سبق أنه يجب أن تكون المسافة الرأسية بين المستوى القياسى للطلمبة وأقل منسوب للمياه فى ماسورة رأسية أو بيارة أقل من

10 mt – NPSH (Required) – 2.969 = 7.03 – Required NPSH

* نذكر على سبيل المثال الحالات الآتية:

١- لبعض الطلمبات المستخدمة فى المنشآت الصناعية نجد أن NPSH = 3 mt وفى هذه الحالة يمكن أن تسحب الطلمبة السائل من منسوب أقل من 4.03 mt

٢- لبعض الطلمبات الصغيرة نجد أن NPSH = 0.7 mt وفى هذه الحالة يمكن أن تسحب الطلمبة السائل من منسوب أقل من 6.33 mt ولذلك يجب عدم تركيب الطلمبة بمستوى يكون عنده المسافة الرأسية بين المستوى القياسي للطلمبة وأقل منسوب للسائل في ماسورة رأسية أو خزان أرضي أو بيارة تزيد عن حوالى ٦ متر تقريباً وهذا يفسر أنه فى بعض الأحوال يكون الحد الأقصى لعمق معظم الخزانات الأرضية أو البيارات فى حدود ٦ متر تقريباً

* عند دوران الطلمبة بسرعة معينة(لفة/ دقيقة) ولم تقوم بسحب السائل من الخزان أو البيارة يكون السبب إرتفاع فاقد الضغط فى مقدمة المروحة الأولى للطلمبة أى إرتفاع قيمة NPSH للطلمبة وتحول عمود السائل الداخل للطلمبة إلى عمود بخار وفى هذه الحالة يكون العلاج تخفيض سرعة دوران الطلمبة وذلك لتحسين ظروف سحب السائل بالطلمبة كما يتضح مما يلى:

أ- إذا كانت لدينا طلمبة مناولة تعطى معدل ١٥٠ متر[٣] /ساعة عند هيد ١٠٠ متر وسرعة دوران٣٠٠٠ لفة/دقيقة (Considering sp.gr = 0.85) تكون قيمة NPSH للطلمبة تساوى ٤,٨ متر ، إذا تم تخفيض سرعة دوران الموتور من ٣٠٠٠ لفة/دقيقة إلى ١٥٠٠ لفة/دقيقة تنخفض قيمة NPSH للطلمبة من ٤,٨ متر إلى ٢,٦ متر تقريباً وبالتالى يمكن رفع مستوى تركيب الطلمبة بمقدار ٢,٢ متر (٤,٨ – ٢,٦) عن (مستوى تركيب الطلمبة عندما كانت تدور بسرعة ٣٠٠٠ لفة/دقيقة)

ب- إذا كانت لدينا طلمبة مناولة تعطى معدل ١٠٠ متر مكعب/ساعة عند هيد ٥٠ متر وسرعة دوران ٣٠٠٠ لفة/دقيقة (Considering sp.gr = 0.85) تكون قيمة NPSH للطلمبة تساوى ٤,١ متر ، إذا تم تخفيض سرعة دوران الموتور من ٣٠٠٠ لفة/دقيقة إلى ١٥٠٠ لفة/دقيقة تنخفض قيمة NPSH للطلمبة من ٤,١ متر إلى ١,٧٨٥ متر تقريباً وبالتالى يمكن رفع مستوى تركيب الطلمبة بمقدار ٢,٣١٥ متر(٤,١ – ١,٧٨٥) عن (مستوى تركيب الطلمبة عندما كانت تدور بسرعة ٣٠٠٠ لفة/دقيقة)

ج– إذا كانت لدينا طلمبة ذات مرحلة واحدة لها مروحة مزدوجة السحب تعطى معدل ٥٠٠ متر^3/ساعة عند Head ١٠٠ متر وتم تدوير هذه الطلمبة بسرعة دوران ٣٠٠٠ لفة/دقيقة

(Considering sp.gr = 1) تكون قيمة NPSH للطلمبة تساوى ٨,٤ متر (هذه القيمة تشير إلى أن هذه الطلمبة رئيسية) بمعنى أن هذه الطلمبة لم تقوم بسحب السائل من الخزان بسبب إرتفاع فاقد الضغط داخل الطلمبة أى إرتفاع قيمة NPSH للطلمبة وتحول عمود السائل الداخل للطلمبة إلى عمود بخار ، إذا تم تخفيض سرعة دوران الطلمبة من ٣٠٠٠ لفة/دقيقة إلى ١٥٠٠ لفة/دقيقة تنخفض قيمة NPSH (Required) للطلمبة من ٨,٤ متر إلى ٣,٣٦ متر تقريباً (هذه القيمة تشير إلى أن هذه الطلمبة مناولة) بمعنى أنه فى هذه الحالة تقوم الطلمبة بسحب السائل من الخزان

ملحق(٢)
الحسابات الهيدروليكية لنقل البترول ومنتجاته بخطوط الأنابيب الطويلة
Long Pipe-Lines

مثال١:

إفترض وجود خط أنابيب لنقل البترول ومنتجاته(قطر الخط = ١٢ بوصة ، سمك الخط = ٠,٣٧٥ بوصة ، طول الخط = ١٤٠ كيلومتر) ومطلوب حساب معدل السريان Flow Rate والـ Head لطلمبات التدفيع الرئيسية (High-Head Pumps) والمناولة(Low-Head Pumps)

المعطيات:

* إفترض أن ضغط الخط بمحطة الإستلام(إستلام المنتج على المستودعات) Terminal يساوى صفر

* فروق مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile صغيرة مقارنة بـ Head التدفيع(يمكن إهمالها)

* السائل المنقول زيت كثافته ٠,٨٥ جم/سم٣ ولزوجته ٧,٥ سنتى ستوك

الحل:

* نحسب معدل السريان بالخط والـ Head اللازم للتدفيع بالخط كالآتى:

أ- نحسب معدل السريان بالخط بإفترض أن سرعة السريان بالخط = ١ متر/ثانية

$$Q = 1.824\ V\ D_i^2$$
$$= 1.824\ (1)\ [\ 12.75 - 2\ (\ 0.375\ )\ ]^2$$
$$= 263\ mt^3 / hr$$

ب- نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط والناتج من فاقد الإحتكاك

$$P = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} l\, Q^{1.75}}{d_i^{\ 4.75}} \times \frac{sp.gr}{10}$$

$$P = 17.5425 \frac{7.5^{0.25}(140)263^{1.75}}{12^{4.75}} \times \frac{0.85}{10} = 44.4\ kg/cm^2$$

بما يعادل ٤٤٤ متر Head مياه

* حيث أن ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب يساوى٧٠ كجم/سم٢ لذلك سوف نحتاج إلى محطة تدفيع (رفع) واحدة فى بداية الخط(محطة الدفع الأولى) وذلك لنقل المعدل المطلوب 263 mt³/hr وبذلك يكون الـ Head اللازم للتدفيع بالخط يساوى 444 mt

* يتم إحضار عدد٢ طلمبة واحدة مناولة والأخرى رئيسية بمحطة الدفع الأولى A فى بداية خط الأنابيب وذلك لسحب البترول من المستودع عن طريق الطلمبة المناولة وتدفيعه إلى الطلمبة الرئيسية ومنها إلى خط الأنابيب ثم محطة الإستلام بحيث أن الطلمبة الرئيسية تعطى معدل حوالى 263 mt³/hr عند Head ٤٤٤ متر وأن الطلمبة المناولة تعطى معدل 363 mt³/ hr عند Head ١٠٠ متر

مثال٢:

إفترض أنه مطلوب رفع كفاءة خط الأنابيب قطر ١٢" بالمثال١ بنسبة ٥٠% من معدل سريان ٢٦٣ م^{3}/ساعة إلى معدل سريان ٣٩٤ م^{3}/ساعة أى رفع سرعة السريان من ١متر/ ثانية إلى ١,٥ متر/ ثانية ومطلوب حساب معدل السريان والـ Head لطلمبات التدفيع الرئيسية والمناولة

المعطيات: نفس معطيات المثال١

الحل:

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط والناتج من فاقد الإحتكاك

$$P = 17.5425 \frac{\gamma^{0.25} l\, Q^{1.75}}{d_i^{\,4.75}} \times \frac{sp.gr}{10}$$

$$P = 17.5425 \frac{7.5^{0.25}(140)394^{1.75}}{12^{4.75}} \times \frac{0.85}{10} = 90\ kg/cm^2$$

* حيث أن ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب يساوى ٧٠ كجم/سم^{2} لذلك سوف نحتاج إلى عدد $\frac{90}{70} = 1.3$ ، تقرب إلى عدد٢ محطة تدفيع(رفع) بحيث تعطى كل محطة ضغط قدره $\frac{90}{2} = 45 kg/cm^2$ بما يعادل ٤٥٠ متر Head مياه

* نحتاج عدد٢ طلمبة واحدة مناولة والأخرى رئيسية بمحطة الدفع الأولى A فى بداية خط الأنابيب وذلك لسحب البترول من المستودع عن طريق الطلمبة المناولة وتدفيعه إلى الطلمبة الرئيسية الأولى ومنها إلى خط الأنابيب ثم الطلمبة الرئيسية الثانية الموجودة بمحطة الدفع الثانية B المركبة بموقع عند منتصف طول الخط تقريباً ومنها إلى خط الأنابيب ثم محطة الإستلام C

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الأولى بحيث تعطى معدل٣٩٤ م^{3}/ساعة أو يقرب إلى ٤٠٠ م^{3}/ساعة عند Head ٤٥٠ متر

* يتم إختيار الطلمبة المناولة بمحطة الدفع الأولى بحيث تعطى معدل٥٠٠ م^{3}/ساعة عند Head ١٠٠ متر

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الثانية بحيث تعطى معدل ٤٠٠ م^{3}/ساعة عند Head ٤٥٠ متر وذلك بنفس مواصفات الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الأولى

مثال٣:

إفترض أنه مطلوب رفع كفاءة خط الأنابيب قطر ١٢" بالمثال٢ بنسبة ٥٠% من معدل سريان ٣٩٤ م^3/ساعة إلى معدل سريان ٥٩١ م^3/ساعة أى رفع سرعة السريان من ١,٥ متر/ثانية إلى ٢,٢٥ متر/ثانية ومطلوب حساب معدل السريان والـ Head لطلمبات التدفيع الرئيسية والمناولة

المعطيات: نفس معطيات المثال١

الحل:

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط والناتج من فاقد الإحتكاك

$$P = 17.5425 \frac{7.5^{0.25}(140)591^{1.75}}{12^{4.75}} \times \frac{0.85}{10} = 183\ kg/cm^2$$

* حيث أن ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن خط الأنابيب يساوى٧٠ كجم/سم^2 لذلك سوف نحتاج إلى عدد $\frac{183}{70} = 2.6$ ، تقرب إلى عدد٣ محطة تدفيع(رفع) بحيث تعطى كل محطة ضغط قدره $\frac{183}{3} = 61 kg/cm^2$ بما يعادل ٦١٠ متر مياه

* نحتاج عدد٢ طلمبة واحدة مناولة والأخرى رئيسية بمحطة الدفع الأولى A فى بداية خط الأنابيب وذلك لسحب البترول من المستودع عن طريق الطلمبة المناولة وتدفيعه إلى الطلمبة الرئيسية الأولى ومنها إلى خط الأنابيب ثم الطلمبة الرئيسية الثانية الموجودة بمحطة الدفع الثانية B بعد حوالى(٣/١) طول الخط تقريباً من محطة الدفع الأولى ومنها إلى خط الأنابيب ثم الطلمبة الرئيسية الثالثة الموجودة بمحطة الدفع الثالثة C بعد حوالى(٣/٢) طول الخط تقريباً من محطة الدفع الأولى ومنها إلى خط الأنابيب ثم محطة الإستلام D

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الأولى بحيث تعطى معدل٥٩١ م^3/ساعة أو يقرب إلى ٦٠٠ م^3/ساعة عند Head ٦١٠ متر

* يتم إختيار الطلمبة المناولة بمحطة الدفع الأولى بحيث تعطى معدل٧٠٠ م^3/ساعة عند Head ١٠٠ متر

* يتم إختيار الطلمبات الرئيسية بمحطات الدفع الثانية والثالثة بحيث تعطى كل طلمبة معدل ٦٠٠ م^3/ساعة عند Head ٦١٠ متر

<u>* فى حالة عدم توافر طلمبة منفردة تعطى الضغط اللازم للتدفيع بالخط(Head قدره ٦١٠ متر) يمكن توفير عدد٢ طلمبة تعمل على التوالى بكل محطة تدفيع(على سبيل المثال بحيث تعطى كل طلمبة معدل ٤٠٠ م^3/ساعة عند Head ٣٦٠ متر)</u>

مثال ٤:

إفترض وجود خط أنابيب لنقل البترول ومنتجاته(قطر الخط = ١٢" ، سمك الخط = ٠,٣٧٥" ، طول الخط = ١٤٠ كيلومتر، معدل التدفيع =٤٠٠ م٣/ساعة) مع إعتبار وجود محطتين تدفيع(رفع) الأولى A فى بداية خط الأنابيب والثانية B بعد حوالى ٧٤ كيلومتر من محطة التدفيع الأولى ومحطة الإستلام C (Terminal) على بعد ٦٦ كم من محطة الدفع الثانية ومطلوب حساب معدل السريان والـ Head لطلمبات التدفيع الرئيسية والمناولة

المعطيات: نفس معطيات المثال١

الحل:

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط من محطة الدفع الأولى A إلى محطة الدفع الثانية B والناتج من فاقد الإحتكاك بالخط بين المحطتين وهو يساوى

$$P_L / kmt = 1.8457 \times 10^{-5} Q^{1.75} \quad kg/cm^2/kmt$$

$$P_L(A \rightarrow B) = 1.8457 \times 10^{-5} \times 74 \times 400^{1.75}\, kg/cm^2 = 49\, kg/cm^2$$

بما يعادل ٤٩٠ متر Head مياه

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الأولى A بحيث تعطى معدل ٤٠٠ م٣/ساعة عند Head ٤٩٠ متر

* يتم إختيار الطلمبة المناولة بمحطة الدفع الأولى A بحيث تعطى معدل ٥٠٠ م٣/ساعة عند Head ١٠٠ متر

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط من محطة الدفع الثانية B إلى محطة الإستلام C والناتج من فاقد الإحتكاك بالخط بين المحطتين وهو يساوى

$$P_L(B \rightarrow C) = 1.8457 \times 10^{-5} \times 66 \times 400^{1.75}\, kg/cm^2 = 44\, kg/cm^2$$

بما يعادل ٤٤٠ متر Head مياه

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الثانية B بحيث تعطى معدل ٤٠٠ م٣/ساعة عند Head ٤٤٠ متر

مثال٥:

إفترض وجود خط أنابيب لنقل البترول ومنتجاته(قطر الخط = ١٢" ، سمك الخط = ٠,٣٧٥" ، طول الخط = ١٤٠ كيلومتر، معدل التدفيع =٦٠٠ م^3/ساعة) مع إعتبار وجود أربع محطات تدفيع(رفع) الأولى A في بداية خط الأنابيب والثانية B بعد حوالى ٣٨ كيلومتر من محطة الدفع الأولى والثالثة C بعد حوالى ٣٧ كم من محطة الدفع الثانية والرابعة D بعد حوالى ٢٧ كم من محطة الدفع الثالثة ثم محطة الإستلام E والتى تقع على بعد ٣٨ كم من محطة الدفع الرابعة ومطلوب حساب معدل السريان والـ Head لطلمبات التدفيع الرئيسية والمناولة

المعطيات: نفس معطيات المثال١

الحل:

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط من محطة الدفع(الرفع) الأولى A إلى محطة الدفع الثانية B والناتج من فاقد الإحتكاك بالخط بين المحطتين وهو يساوى

$$P_L(A \rightarrow B) = 1.8457 \times 10^{-5} \times 38 \times 600^{1.75}\, kg/cm^2 = 51 kg/cm^2$$

بما يعادل ٥١٠ متر Head مياه

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الأولى A بحيث تعطى معدل ٦٠٠ م^3/ساعة عند Head ٥١٠ متر

* يتم إختيار الطلمبة المناولة بمحطة الدفع الأولى A بحيث تعطى معدل ٧٠٠ م^3/ساعة عند Head ١٠٠ متر

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط من محطة الدفع الثانية B إلى محطة الدفع الثالثة C وهو يساوى

$$P_L(B \rightarrow C) = 1.8457 \times 10^{-5} \times 37 \times 600^{1.75}\, kg/cm^2 = 50 kg/cm^2$$

بما يعادل ٥٠٠ متر Head مياه

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الثانية B بحيث تعطى معدل ٦٠٠ م^3/ساعة عند Head ٥٠٠ متر

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط من محطة الدفع الثالثة C إلى محطة الدفع الرابعة D وهو يساوى

$$P_L(C \rightarrow D) = 1.8457 \times 10^{-5} \times 27 \times 600^{1.75}\, kg/cm^2 = 36 kg/cm^2$$

بما يعادل ٣٦٠ متر Head مياه

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الثالثة C بحيث تعطى معدل ٦٠٠ م^3/ساعة عند Head ٣٦٠ متر

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط من محطة الدفع الرابعة D إلى محطة الإستلام E وهو يساوى

$$P_L(D \rightarrow E) = 1.8457 \times 10^{-5} \times 38 \times 600^{1.75}\, kg/cm^2 = 51 kg/cm^2$$

بما يعادل ٥١٠ متر Head مياه

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الرابعة D بحيث تعطى معدل ٦٠٠ م٣/ساعة عند Head ٥١٠ متر

* يفضل بقدر الإمكان مراعاة تقريب الـ Head المطلوب لإحضار طلمبات مواصفاتها متطابقة ، على سبيل المثال يمكن إختيار الطلمبات الرئيسية بمحطات الدفع الأولى A والثانية B والرابعة D بحيث تعطى كلاً منها معدل ٦٠٠ م٣/ساعة عند Head ٥٠٠ متر

مثال٦:

إفترض وجود خط أنابيب لنقل البترول ومنتجاته(قطر الخط = ١٢" ، سمك الخط = ٠,٣٧٥" ، طول الخط = ٦٥ كيلومتر، معدل التدفيع =٤٠٠ م٣/ساعة) مع إعتبار وجود محطة تدفيع(رفع) واحدة فى بداية الخط ومطلوب حساب معدل السريان والـ Head لطلمبات التدفيع الرئيسية والمناولة

المعطيات: نفس معطيات المثال١

الحل:

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط والناتج من فاقد الإحتكاك بالخط وهو يساوى

$$P_L = 1.8457 \times 10^{-5} \times 65 \times 400^{1.75}\, kg/cm^2 = 43\, kg/cm^2$$

بما يعادل ٤٣٠ متر Head مياه

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع بحيث تعطى معدل ٤٠٠ م٣/ساعة عند Head ٤٣٠ متر

* يتم إختيار الطلمبة المناولة بمحطة الدفع بحيث تعطى معدل ٥٠٠ م٣/ساعة عند Head ١٠٠ متر

مثال٧:

إفترض وجود خط أنابيب لنقل البترول ومنتجاته(قطر الخط = ١٢" ، سمك الخط = ٠,٣٧٥" ، طول الخط = ٦٥ كيلومتر، معدل التدفيع =٦٠٠ م٣/ساعة) مع إعتبار وجود محطتين تدفيع(رفع) الأولى Aفى بداية خط الأنابيب والثانية B بعد حوالى ٢٧ كم من محطة الدفع الأولى ومحطة الإستلام C على بعد حوالى ٣٨ كم من محطة الدفع الثانية ومطلوب حساب معدل السريان والـ Head لطلمبات التدفيع الرئيسية والمناولة

المعطيات: نفس معطيات المثال١

الحل:

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط من محطة الدفع الأولى A إلى محطة الدفع الثانية B والناتج من فاقد الإحتكاك بالخط بين المحطتين وهو يساوى

$$P_L(A \rightarrow B) = 1.8457 \times 10^{-5} \times 27 \times 600^{1.75}\, kg/cm^2 = 36\, kg/cm^2$$

بما يعادل ٣٦٠ متر Head مياه

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الأولى A بحيث تعطى معدل ٦٠٠ م٣/ساعة عند Head ٣٦٠ متر

* يتم إختيار الطلمبة المناولة بمحطة الدفع الأولى A بحيث تعطى معدل ٧٠٠ م٣/ساعة عند Head ١٠٠ متر

* نحسب الضغط اللازم للتدفيع بالخط من محطة الدفع الثانية B إلى محطة الإستلام C والناتج من فاقد الإحتكاك بالخط بين المحطتين وهو يساوى

$$P_L(B \rightarrow C) = 1.8457 \times 10^{-5} \times 38 \times 600^{1.75}\, kg/cm^2 = 51 kg/cm^2$$

بما يعادل ٥١٠ متر Head مياه

* يتم إختيار الطلمبة الرئيسية بمحطة الدفع الثانية B بحيث تعطى معدل ٦٠٠ م٣/ساعة عند Head ٥١٠ متر

* <u>فى حالة عدم توافر طلمبة منفردة تعطى الضغط اللازم للتدفيع بالخط يمكن توفير عدد٢ طلمبة تعمل على التوالى بكل محطة تدفيع</u>

ملحق(٣)
دراسة جدوى المعاونة بمحطات التدفيع(الرفع) البينية

مثال١:

دراسة جدوى المعاونة بطلمبة١ لمحطة تدفيع(رفع) بينية B(مركبة بموقع عند منتصف طول الخط تقريباً) على خط قطره ١٢ بوصة ، سمكه ٠,٣٧٥ بوصة وطوله ١٤٠ كيلومتر من محطة التدفيع الأولى A إلى محطة الإستلام C

قدرة المحرك الكهربائى للطلمبة١ بمحطة التدفيع البينية B = ٤٦٠ كيلووات

* المعدل المتوسط بالخط ١٢" نتيجة تشغيل محطة التدفيع الأولى A فقط وبدون معاونة محطة التدفيع البينية B يساوى ٢٨٠ م٣/ساعة

* قيمة الزيادة فى المعدل نتيجة تشغيل طلمبة١ بمحطة التدفيع البينية B = ٩٠ م٣/ساعة

* المعدل المتوسط نتيجة تشغيل محطات التدفيع الأولى A والبينية B = ٢٨٠+٩٠ = ٣٧٠ م٣/ساعة

* قيمة الزيادة السنوية فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة١ بمحطة التدفيع البينية B تساوى

٩٠ م٣/ساعة ×٢٤ ساعة × ٣٦٥ يوم/سنة = ٧٨٨٤٠٠ متر٣

* العائد السنوى لقيمة الزيادة فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة١ بمحطة التدفيع البينية B يساوى

٧٨٨٤٠٠ × ٠,٨٤ × ٨ جنيه/طن = ٥٢٩٨٠٤٨ جنيه

(بإفتراض أن سعر النقل ٨ جنيه/طن ، وبإفتراض أن المنتج المنقول سولار كثافته ٠,٨٤ جم/سم٣)

* مصاريف التشغيل السنوية(إستهلاك الكهرباء للطلمبة١ بمحطة التدفيع البينية B) تساوى

قدرة التشغيل الفعلية Rated للمحرك × ٢٤ ساعة × (٣٦٥ يوم/ سنة) × (٠,٢١٤ جنيه/كيلووات ساعة)

(بإفتراض أن سعر إستهلاك الكهرباء للكيلووات ساعة يساوى ٠,٢١٤ جنيه)

بالرجوع إلى كفاءة الطلمبة(الباب الخامس) وبإفتراض أن نسبة الحمل الزائد = ١٠% تكون

قدرة المحرك = قدرة التشغيل الفعلية Rated للمحرك × ١,١٠

وبالتالى تكون مصاريف التشغيل السنوية (إستهلاك الكهرباء للطلمبة١ بمحطة التدفيع البينية B) = (قدرة المحرك وهى٤٦٠ كيلووات/١,١٠) × ٢٤ساعة × (٣٦٥ يوم/ سنة) × (٠,٢١٤ جنيه/كيلووات ساعة) = ٧٨٣٩٤٠ جنيه

* مصاريف الإهلاك السنوية للطلمبة١ بمحطة التدفيع البينية B تساوى

٤%(٤٦٠ × ١,٣٦ × ٣٠٠٠ جنيه/حصان مترى) = ٧٥٠٧٢ جنيه

(بإفتراض أن سعر شراء وحدة الضخ أى الطلمبة١ كاملة Skid للحصان Metric يساوى ٣٠٠٠ جنيه)

* مصاريف الإهلاك السنوية للخط نتيجة تشغيل محطة التدفيع البينية B تساوى

٣%(٩٠/٣٧٠) × ٤٥ مليون جنيه = ٣٢٨٣٧٨ جنيه

(بإفتراض أن المبلغ المستثمر لإنشاء خط الأنابيب قطر ١٢" ، سمك ٠,٣٧٥" وطول ١٤٠ كيلومتر يساوى ٤٥ مليون جنيه)

* المصاريف السنوية لأجور العمالة بمحطة التدفيع البينية B = ١٦١٩٢٤٢ جنيه

* لم يؤخذ فى الإعتبار المصاريف السنوية للصيانة نظراً لصغرها

* إجمالى المصاريف السنوية لمحطة التدفيع البينية B تساوى

٧٨٣٩٤٠ + ٧٥٠٧٢ + ٣٢٨٣٧٨ + ١٦١٩٢٤٢ = ٢٨٠٦٦٣٢ جنيه

* الربح السنوى لقيمة الزيادة فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة١ بمحطة التدفيع البينية B يساوى

العائد السنوى – إجمالى المصاريف السنوية

= ٥٢٩٨٠٤٨ – ٢٨٠٦٦٣٢ = ٢٤٩١٤١٦ جنيه أى حوالى ٢,٤٩١ مليون جنيه

مثال٢:

دراسة جدوى المعاونة بطلمبة٢(لها نفس مواصفات الطلمبة١ بالمثال١) لمحطة تدفيع(رفع) بينية B(المحطة المذكورة بالمثال١) على خط قطره ١٢" ، سمكه ٠,٣٧٥" وطوله ٧٠ كيلومتر من محطة التدفيع الأولى A إلى محطة التدفيع البينية B ثم يكبر القطر إلى ١٦" ، سمكه ٠,٣٧٥" وطوله ٧٠ كيلومتر من محطة التدفيع البينية B إلى محطة الإستلام C

قدرة المحرك الكهربائى للطلمبة٢ بمحطة التدفيع البينية B = ٤٦٠ كيلووات

* المعدل المتوسط بالخط ١٢"/١٦" نتيجة تشغيل محطة التدفيع الأولى A فقط وبدون معاونة محطة التدفيع البينية B يساوى ٤٠٠ م^{٣}/ساعة

* قيمة الزيادة فى المعدل نتيجة تشغيل طلمبة٢ بمحطة التدفيع البينية B = ١٦ م^{٣}/ساعة

* المعدل المتوسط نتيجة تشغيل محطات التدفيع الأولى A والبينية B = ٤٠٠+١٦ = ٤١٦ م^{٣}/ساعة

* قيمة الزيادة السنوية فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة٢ بمحطة التدفيع البينية B تساوى

١٦ م^{٣}/ساعة × ٢٤ ساعة × ٣٦٥ يوم/سنة = ١٤٠١٦٠ متر^{٣}

* العائد السنوى لقيمة الزيادة فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة٢ بمحطة التدفيع البينية B يساوى

١٤٠١٦٠ × ٠,٨٤ × ٨ جنيه/طن = ٩٤١٨٧٥ جنيه

(بإفتراض أن سعر النقل ٨ جنيه/طن ، وبإفتراض أن المنتج المنقول سولار كثافته ٠,٨٤ جم/سم^{٣})

* مصاريف التشغيل السنوية(إستهلاك الكهرباء للطلمبة٢ بمحطة التدفيع البينية B) تساوى
(قدرة المحرك وهى٤٦٠ كيلووات/١,١٠) × ٢٤ساعة × (٣٦٥ يوم/ سنة) × (٠,٢١٤ جنيه/كيلووات ساعة) = ٧٨٣٩٤٠ جنيه
(بإفتراض أن سعر إستهلاك الكهرباء للكيلووات ساعة يساوى ٠,٢١٤ جنيه ، وبإفترض أن نسبة الحمل الزائد = ١٠%)

* مصاريف الإهلاك السنوية للطلمبة٢ بمحطة التدفيع البينية B تساوى

٤%(٤٦٠ × ١,٣٦ × ٣٠٠٠ جنيه/حصان مترى) = ٧٥٠٧٢ جنيه

(بإفتراض أن سعر شراء وحدة الضخ أى الطلمبة٢ كاملة Skid للحصان Metric يساوى ٣٠٠٠ جنيه)

* مصاريف الإهلاك السنوية للخط نتيجة تشغيل محطة التدفيع البينية B تساوى

٣%(١٦/٤١٦) × ٥٢,٥ مليون جنيه = ٦٠٥٧٧ جنيه

(بإفتراض أن المبلغ المستثمر لإنشاء خط الأنابيب قطر ١٢"/١٦" سمك ٠,٣٧٥" وطول ٧٠/٧٠ كيلومتر أى طول إجمالى ١٤٠ كيلومتر يساوى ٥٢,٥ مليون جنيه)

* لم يؤخذ فى الإعتبار المصاريف السنوية لأجور العمالة بمحطة التدفيع البينية B وذلك لعدم إحتساب أجور العمالة مرتين بمحطة واحدة

* لم يؤخذ فى الإعتبار المصاريف السنوية للصيانة نظراً لصغرها

* إجمالى المصاريف السنوية لمحطة التدفيع البينية B تساوى

٧٨٣٩٤٠ + ٧٥٠٧٢ + ٦٠٥٧٧ = ٩١٩٥٨٩ جنيه

* الربح السنوى لقيمة الزيادة فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة٢ بمحطة التدفيع البينية B يساوى

العائد السنوى – إجمالى المصاريف السنوية

= ٩٤١٨٧٥ – ٩١٩٥٨٩ = ٢٢٢٨٦ جنيه(قيمة صغيرة)

* لذلك يتضح عدم جدوى تشغيل الطلمبة٢ بمحطة التدفيع البينية B على الخط ١٢"/١٦" من محطة التدفيع الأولى A إلى محطة الإستلام C

مثال٣:

دراسة جدوى المعاونة بطلمبة٣ لمحطة تدفيع(رفع) بينية B(مركبة بموقع عند منتصف طول الخط تقريباً) على خط قطره ١٢" ، سمكه ٠,٣٧٥" وطوله ١٤٠ كيلومتر من محطة التدفيع الأولى A إلى محطة الإستلام C

قدرة المحرك الكهربائى للطلمبة٣ بمحطة التدفيع البينية B = ١١١٥ كيلووات

* المعدل المتوسط بالخط ١٢" نتيجة تشغيل محطة التدفيع الأولى A فقط وبدون معاونة محطة التدفيع البينية B يساوى ٢٨٠ م^3/ساعة

* قيمة الزيادة فى المعدل نتيجة تشغيل طلمبة٢ بمحطة التدفيع البينية B تساوى

٤٨,٦%(٢٨٠ م^3/ساعة) = ١٣٦ م^3/ساعة

* المعدل المتوسط نتيجة تشغيل محطات التدفيع الأولى A والبينية B = ٢٨٠+١٣٦ = ٤١٦ م^3/ساعة

* قيمة الزيادة السنوية فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة٣ بمحطة التدفيع البينية B تساوى

١٣٦ م^3/ساعة × ٢٤ ساعة × ٣٦٥ يوم/سنة = ١١٩١٣٦٠ متر^3

* العائد السنوى لقيمة الزيادة فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة٣ بمحطة التدفيع البينية B يساوى

١١٩١٣٦٠ × ٠,٨٤ × ٨ جنيه/طن = ٨٠٠٥٩٣٩ جنيه

(بإفتراض أن سعر النقل ٨ جنيه/طن ، وبإفتراض أن المنتج المنقول سولار كثافته ٠,٨٤ جم/سم^3)

* مصاريف التشغيل السنوية(إستهلاك الكهرباء للطلمبة٣ بمحطة التدفيع البينية B) تساوى

(قدرة المحرك وهى١١١٥ كيلووات/١,١٠) × ٢٤ساعة × (٣٦٥ يوم/ سنة) × (٠,٢١٤ جنيه/كيلووات ساعة) = ١٩٠٠٢٠٣ جنيه

(بإفتراض أن سعر إستهلاك الكهرباء للكيلووات ساعة يساوى ٠,٢١٤ جنيه ، وبإفتراض أن قدرة المحرك = قدرة التشغيل الفعلية Rated للمحرك × ١,١٠)

* مصاريف الإهلاك السنوية للطلمبة٣ بمحطة التدفيع البينية B تساوى

٤%(١١١٥ × ١,٣٦ × ٣٠٠٠ جنيه/حصان مترى) = ١٨١٩٦٨ جنيه

(بإفتراض أن سعر شراء وحدة الضخ أى الطلمبة٣ كاملة Skid للحصان Metric يساوى ٣٠٠٠ جنيه)

* مصاريف الإهلاك السنوية للخط نتيجة تشغيل محطة التدفيع البينية B تساوى

٣%(١٣٦/٤١٦) × ٤٥ مليون جنيه = ٤٤١٣٤٦ جنيه

(بإفتراض أن المبلغ المستثمر لإنشاء خط الأنابيب قطر ١٢" ، سمك ٠,٣٧٥" وطول ١٤٠ كيلومتر يساوى ٤٥ مليون جنيه)

* المصاريف السنوية لأجور العمالة بمحطة التدفيع البينية B = ١٦١٩٢٤٢ جنيه

* لم يؤخذ فى الإعتبار المصاريف السنوية للصيانة نظراً لصغرها

* إجمالى المصاريف السنوية لمحطة التدفيع البينية B تساوى

١٩٠٠٢٠٣ + ١٨١٩٦٨ + ٤٤١٣٤٦ + ١٦١٩٢٤٢ = ٤١٤٢٧٥٩ جنيه

* الربح السنوى لقيمة الزيادة فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة٣ بمحطة التدفيع البينية B يساوى

العائد السنوى – إجمالى المصاريف السنوية

= ٨٠٠٥٩٣٩ – ٤١٤٢٧٥٩ = ٣٨٦٣١٨٠ جنيه أى حوالى ٣,٨٦٣ مليون جنيه

مثال ٤ :

دراسة جدوى المعاونة بطلمبة٤(لها نفس مواصفات الطلمبة٣ بالمثال٣) لمحطة تدفيع(رفع) بينية B(المحطة المذكورة بالمثال٣) على خط قطره ١٦" ، سمكه ٠,٣٧٥" وطوله ١٤٠ كيلومتر من محطة التدفيع الأولى A إلى محطة الإستلام C

قدرة المحرك الكهربائى للطلمبة٤ بمحطة التدفيع البينية B = ١١١٥ كيلووات

* المعدل المتوسط بالخط ١٦" نتيجة تشغيل محطة التدفيع الأولى A فقط وبدون معاونة محطة التدفيع البينية B يساوى ٤٠٠ م^{٣}/ساعة

* قيمة الزيادة فى المعدل نتيجة تشغيل طلمبة٤ بمحطة التدفيع البينية B تساوى

٤٨,٦%(٤٠٠ م^{٣}/ساعة) = ١٩٤ م^{٣}/ساعة

* المعدل المتوسط نتيجة تشغيل محطات التدفيع الأولى A والبينية B = ٤٠٠+١٩٤ = ٥٩٤ م^{٣}/ساعة

* قيمة الزيادة السنوية فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة٤ بمحطة التدفيع البينية B تساوى

١٩٤ م^{٣}/ساعة × ٢٤ ساعة × ٣٦٥ يوم/سنة = ١٦٩٩٤٤٠ متر^{٣}

* العائد السنوى لقيمة الزيادة فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة٤ بمحطة التدفيع البينية B يساوى

١٦٩٩٤٤٠ × ٠,٨٤ × ٨ جنيه/طن = ١١٤٢٠٢٣٧ جنيه

(بإفتراض أن سعر النقل ٨ جنيه/طن ، وبإفتراض أن المنتج المنقول سولار كثافته ٠,٨٤ جم/سم^{٣})

* مصاريف التشغيل السنوية(إستهلاك الكهرباء للطلمبة٤ بمحطة التدفيع البينية B) تساوى

(قدرة المحرك وهى١١١٥ كيلووات/١,١٠) × ٢٤ ساعة × (٣٦٥ يوم/ سنة) × (٠,٢١٤ جنيه/كيلووات ساعة) = ١٩٠٠٢٠٣ جنيه

(بإفتراض أن سعر إستهلاك الكهرباء للكيلووات ساعة يساوى ٠,٢١٤ جنيه ، وبإفترض أن نسبة الحمل الزائد = ١٠%)

* مصاريف الإهلاك السنوية للطلمبة٤ بمحطة التدفيع البينية B تساوى

٤%(١١١٥ × ١,٣٦ × ٣٠٠٠ جنيه/حصان مترى) = ١٨١٩٦٨ جنيه

(بإفتراض أن سعر شراء وحدة الضخ أى الطلمبة٤ كاملة Skid للحصان Metric يساوى ٣٠٠٠ جنيه)

* مصاريف الإهلاك السنوية للخط نتيجة تشغيل محطة التدفيع البينية B تساوى

٣%(١٩٤/٥٩٤) × ٦٠ مليون جنيه = ٥٨٧٨٧٩ جنيه

(بإفتراض أن المبلغ المستثمر لإنشاء خط الأنابيب قطر ١٦" ، سمك ٠,٣٧٥" وطول ١٤٠ كيلومتر يساوى ٦٠ مليون جنيه)

* لم يؤخذ فى الإعتبار المصاريف السنوية لأجور العمالة بمحطة التدفيع البينية B وذلك لعدم إحتساب أجور العمالة مرتين بمحطة واحدة

* لم يؤخذ فى الإعتبار المصاريف السنوية للصيانة نظراً لصغرها

* إجمالى المصاريف السنوية لمحطة التدفيع البينية B تساوى

١٩٠٠٢٠٣ + ١٨١٩٦٨ + ٥٨٧٨٧٩ = ٢٦٧٠٠٥٠ جنيه

* الربح السنوى لقيمة الزيادة فى الكمية نتيجة تشغيل طلمبة٤ بمحطة التدفيع البينية B يساوى

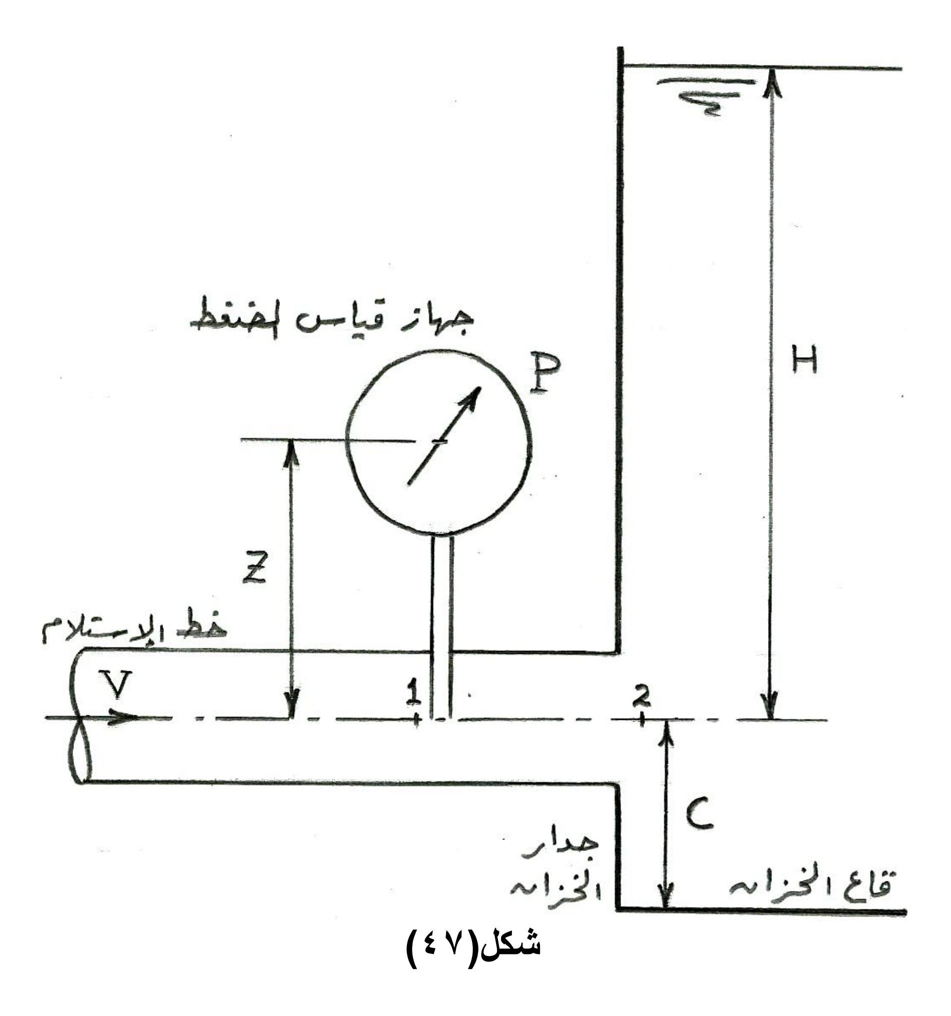
العائد السنوى – إجمالى المصاريف السنوية

= ١١٤٢٠٢٣٧ – ٢٦٧٠٠٥٠ = ٨٧٥٠١٨٧ جنيه أى حوالى ٨,٧٥٠ مليون جنيه

* الأسعار المذكورة بالأمثلة أعلاه بملحق٣ هى أسعار إفتراضية للتوضيح فقط ولا يعتمد عليها للوصول إلى نتائج دقيقة

ملحق(٤)
تطبيقات متنوعة

تطبيق١ : قياس منسوب Head السائل بالخزان بمعرفة ضغط السائل بمدخل خط الإستلام على جدار الخزان



شكل(٤٧)

* يوضح شكل(٤٧) أنه بتطبيق معادلة برنوللى على النقطتين(١)،(٢) وإهمال الفواقد نظراً لصغرها يكون

$$\frac{10P_1}{sp.gr}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{10P_2}{sp.gr}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2$$

* مع أخذ المستوى القياسى هو محور الأنبوبة وإهمال السرعة V_2 بإعتبارها أقل بكثير من V_1 يكون

$$\frac{10P_1}{sp.gr}+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{10P_2}{sp.gr}$$

$$\left(\frac{10P}{sp.gr}+Z\right)+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{10P_2}{sp.gr}$$

* يكون منسوب Head السائل بالخزان فوق سنتر خط الإستلام يساوى تقريباً

$$H = \frac{10P_2}{sp.gr} = \left(\frac{10P}{sp.gr} + Z \right) + \frac{V_1^2}{2g}$$

* يكون منسوب Head السائل بالخزان (متر) يساوى تقريباً

$$H + C = \left(\frac{10P}{sp.gr} + Z \right) + \frac{V_1^2}{2g} + C$$

$$= \left(\frac{10P}{sp.gr} + Z \right) + \frac{0.01532\,Q^2}{d_i^{\,4}} + C \qquad (P:\ kg/cm^2)$$

$$= \left(\frac{10.197P}{sp.gr} + Z \right) + \frac{0.01532\,Q^2}{d_i^{\,4}} + C \qquad (P:\ bar)$$

P : قراءة جهاز قياس الضغط المركب بمدخل خط الإستلام على جدار المستودع

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل بالخزان (أقل من أو تساوى١)

Q : معدل إستلام السائل بالخزان (متر^3/ساعة)

d_i : القطر الداخلى لخط إستلام السائل بالخزان(بوصة)

Z : المسافة بين سنتر جهاز قياس الضغط وسنتر خط الإستلام للخزان(متر)

C : المسافة بين قاع المستودع وسنتر خط الإستلام بالمتر(ثابت)

تطبيق٢: نموذج لمجمع بلوف التحكم بمحطة تدفيع على خط أنابيب رئيسى٣٦" لنقل البترول

* يوضح شكل(٤٨) نموذج لمجمع بلوف التحكم بمحطة تدفيع على خط أنابيب رئيسى قطر ٣٦ بوصة لنقل البترول

* تسمح محطة التدفيع بتشغيل ثلاث طلمبات رئيسية من خلال خط أنابيب رئيسى واحد بإستخدام خط واحد فقط لسحب وطرد الطلمبات وذلك بالإمكانيات الآتية:

أ- كل طلمبة على حده

ب- كل طلمبتين على التوالى بصرف النظر عن ترتيبهم

ج- سريان السائل بالخط الرئيسى فى إتجاه واحد دون الدخول على شبكة عنبر الطلمبات نهائياً

* تستخدم مجمعات بلوف التحكم فى معدل السريان بمحطات التدفيع للطلمبات التى تنقل كميات كبيرة ويتم تشغيلها بصورة شبه مستمرة طوال العام وذلك لتخفيض الفاقد فى قدرة الطلمبات عند التحكم فى معدل السريان بالخنق على الخط الرئيسى

* بإفتراض أن فاقد الضغط خلال مجمع بلوف التحكم الموضح بالشكل(٤٨) يساوى ٠,٢٥ كجم/سم^2 والكمية المنقولة بالخط الرئيسى ٣٦" حوالى٧٠٠٠ م^3/ساعة

* إذا كانت الطلمبات التى تعمل على التوالى متماثلة يمكن إفتراض أن الكفاءة الكلية للطلمبات هى نفس كفاءة الطلمبة الواحدة .

* بإفتراض أن الكفاءة الكلية للطلمبات أو (كفاءة الطلمبة الواحدة إذا كانت الطلمبات متماثلة) تساوى٨٢% وبالرجوع إلى كفاءة الطلمبة(الباب الخامس) نجد أن الفاقد فى قدرة الطلمبات خلال مجمع بلوف التحكم يساوى

$$\text{HP (Metric)} = \frac{\Delta P_{LOSS}\, Q}{27\eta}$$

$$= \frac{0.25 \times 7000}{27 \times 0.82} = 79 \text{ (حصان مترى)}$$

* بسبب صغر طول أفرع الخطوط بمجمعات بلوف التحكم يكون الفاقد الرئيسى هو الفاقد الثانوى Mainly Minor Losses (يمكن الرجوع إلى الباب الرابع للتوضيح)

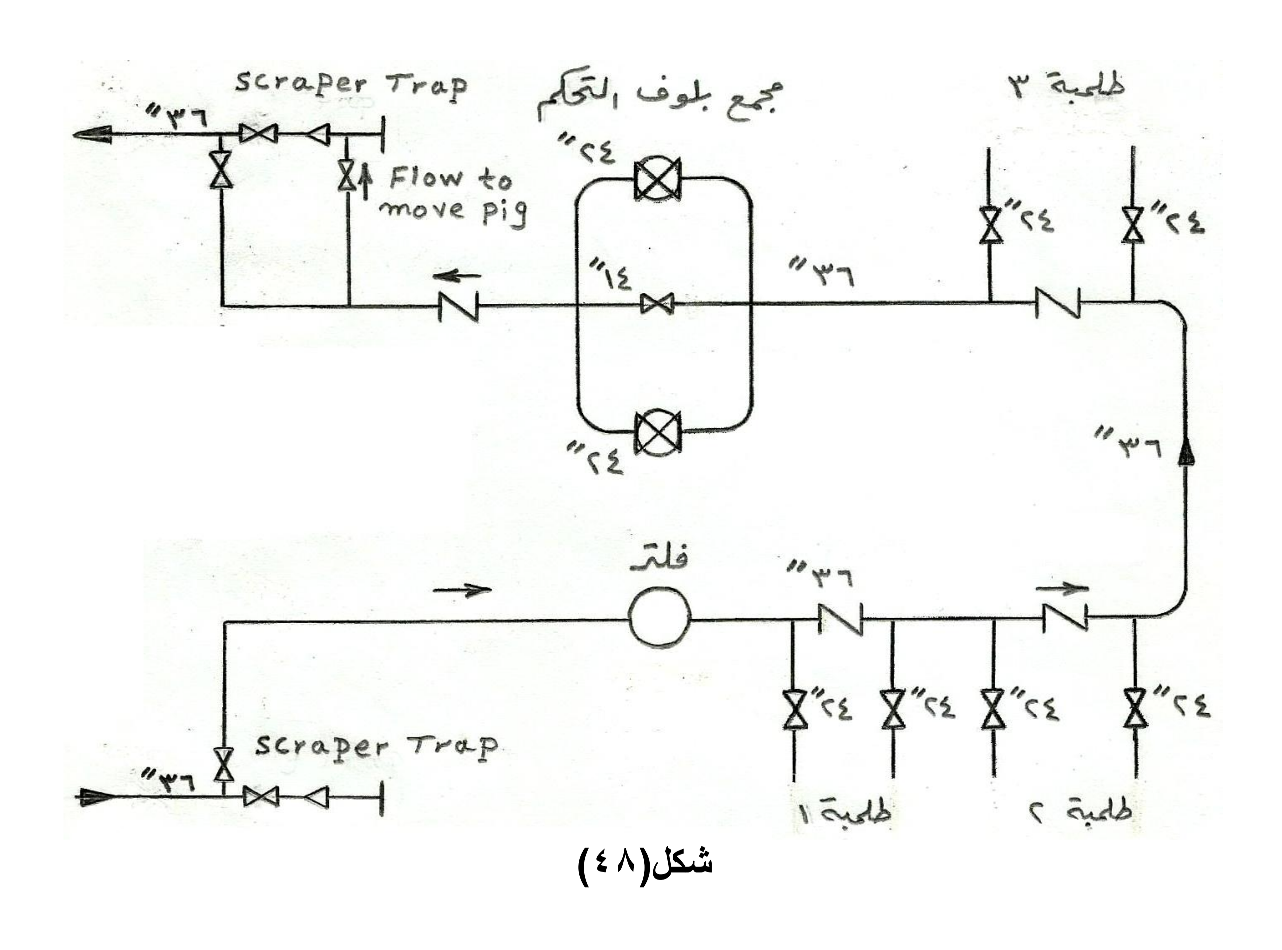
* يكون فى العادة مقاس(قطر) بلف التحكم أقل من مقاس(قطر) الخط الرئيسى

* بالرجوع إلى مجمع بلوف التحكم الموضح بالشكل(٤٨) وفى حالة أن يكون أكبر مقاس متاح لبلف التحكم هو ٢٤ بوصة يتبين أنه يجب أن يحتوى مجمع بلوف التحكم على عدد٢ بلف مقاس ٢٤" وعدد١ بلف مقاس ١٤"

* لتحقيق متطلبات التشغيل الأمثل لمجمع بلوف التحكم يتم الإستعانة بالأجهزة Instrumentation بحيث:

١ – فى حالة عدم الإحتياج للخنق يكون(عدد٢ بلف تحكم ٢٤" وعدد١ بلف كروى ١٤") مفتوحين بالكامل

٢ – إذا تطلبت ظروف تشغيل الخط الرئيسى إجراء الخنق(التحكم) يتم أولاً غلق البلف الكروى ١٤" بالكامل ، وعند الحاجة إلى إجراء خنق إضافى يتم ذلك بإستخدام عدد٢ بلف تحكم ٢٤"


Scraper Trap
مجمع بلوف التحكم
طلمبة ٣
"٣٦
"٢٤
Flow to
move pig
"١٤
"٣٦
"٢٤
"٢٤
"٢٤
"٣٦
فلتر
"٣٦
"٢٤
"٢٤
"٢٤
"٢٤
Scraper Trap
"٣٦
طلمبة ١
طلمبة ٢

شكل(٤٨)

تطبيق ٣:

* شكل(٤٩) يوضح مسار Profile خط أنابيب قطره ١٢ بوصة وطوله ١٦٠ كيلومتر

* يمر مسار خط الأنابيب بعدد٢ قمة تل:

أ- الأولى H_1 بإرتفاع ٤٠٠ متر من مستوى سطح البحر وعلى بعد ٥٠ كيلومتر من بداية الخط

ب- الثانية H_2 بإرتفاع ٤٥٠ متر من مستوى سطح البحر وعلى بعد ١٤٠ كيلومتر من بداية الخط

* الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار الخط Profile كبيرة مقارنة بـ Head التدفيع ولايمكن إهمالها

* الخط ينقل زيت خام لزوجته ١٠ سنتى ستوكس وكثافته النسبية ٠,٨٦ وضغطه البخارى ٠,٥ كجم/سم٢

* يتم تشغيل خط الأنابيب بعدد٢ محطة رفع الأولى فى بداية الخط والثانية بعد حوالى ٧٠ كيلومتر من محطة الرفع الأولى

* تحتوى كل محطة رفع على عدد٢ طلمبة طاردة مركزية متماثلة تعمل على التوالى وتعطى كل طلمبة معدل ٤٠٠ م٣/ساعة عند ٤٧٥ متر Head

* يوضح شكل(٥٠) منحنيات الأداء للطلمبات ، إوجد الآتى:

١- الكمية المنقولة من محطة الرفع الأولى

٢- القدرة المستهلكة بكل محطة رفع

٣- أطوال خطوط الأنابيب الإضافية Loops والقدرة المستهلكة بمحطات الرفع فى حالة رفع كفاءة الخط بنسبة ٢٥%

أولاً: يتم حساب المعدل المتوسط للخط ١٢" على أساس أن السرعة ١,٥ متر/ ثانية ونحسب الضغط اللازم للتدفيع وبالتالى نحدد نوع المواسير وسمكها ويتم تصنيف الضغط للمهمات والبلوف(ANSI)

* حيث أن $Q = 1.824\ V D_i^2$

بإفتراض أن القطر الداخلى للخط يساوى ١٢" تقريباً نجد أن

$$Q = 1.824\ (1.5)\ (12)^2 = 394\ \ mt^3/hr$$

$$\text{Take it } 400\ mt^3/hr$$

* بالرجوع إلى منحنيات الأداء للطلمبات شكل(٥٠) نجد أن:

* الضغط فى صورة Head الذى تعطيه الطلمبة الواحدة عند المعدل ٤٠٠ متر٣/ساعة يساوى ٤٧٥ متر عند أحسن كفاءة(٨٢%) وبذلك يكون الضغط فى صورة Head الذى تعطيه طلمبتين على التوالى عند نفس المعدل ٤٠٠ متر٣/ساعة يساوى ٢ × ٤٧٥ = ٩٥٠ متر أى ما يعادل

$$950 \times \frac{0.86}{10} = 81.7\ \ Kg/cm^2$$

* الضغط فى صورة Head الذى تعطيه الطلمبة الواحدة عند إنعدام معدل السريان Shut Off Head يساوى ٥٢٥ متر وبذلك يكون الضغط فى صورة Head الذى تعطيه طلمبتين على التوالى عند إنعدام معدل السريان يساوى ٢ × ٥٢٥ = ١٠٥٠ متر أى ما يعادل

$$1050 \times \frac{0.86}{10} = 90.3 \ Kg/cm^2$$

* بالرجوع إلى جدول٦(الباب الثانى) نجد أن:
* ضغط التشغيل للخط = ١٠٥ كجم/سم٢
* ضغط تحمل المواسير (ضغط الإختبار للخط) = ١٥٦ كجم/سم٢
* تصنيف الضغط للمهمات والبلوف ANSI 900
* المواسير المناسبة للخط X-52 schedule 60 أو Grade B schedule 100
* إفترض أن خامة المواسير X-52 schedule 60 بالرجوع إلى جدول٥(الباب الثانى) نجد أن سمك مواسير الخط يساوى ٠,٥٦٢ بوصة = ١٤,٢٧ مم
* نحسب القطر الداخلى الفعلى للخط (D_i) = ١٢,٧٥ - ٢ (٠,٥٦٢) = ١١,٦٢٦ بوصة

ثانياً: يتم رسم عدد٢ منحنى مقاومة خط الأنابيب للجزء الأول بالخط من محطة الرفع الأولى(عند بداية الخط) إلى محطة الرفع الثانية وللجزء الثانى بالخط من محطة الرفع الثانية إلى محطة الإستلام(عند نهاية الخط) وذلك على منحنيات الأداء للطلمبات بالشكل(٥٠) وبنفس مقياس الرسم

* فرق المنسوب بين محطة الرفع الثانية ومحطة الرفع الأولى يساوى ٢٠٠ – ٥٠ = ١٥٠ متر
* مقاومة خط الأنابيب للجزء الأول بالخط تساوى

$$H = 150 + 17.5425 \ \frac{10^{0.25}(70)\, Q^{1.75}}{11.626^{4.75}}$$

$$H = 150 + 0.018984 \ \ Q^{1.75}$$

* فرق المنسوب بين محطة الإستلام ومحطة الرفع الثانية يساوى ١٠٠ – ٢٠٠ = – ١٠٠ متر
* مقاومة خط الأنابيب للجزء الثانى بالخط تساوى

$$H = -100 + 17.5425 \ \frac{10^{0.25}(90)\, Q^{1.75}}{11.626^{4.75}}$$

$$H = -100 + 0.024408 \ \ Q^{1.75}$$

* يتضح من شكل(٥٠) أن نقطتى التشغيل وهى نقطتى تقاطع عدد٢ منحنى مقاومة خط الأنابيب مع منحنى تغير الضغط فى صورة Head مع الكمية المنقولة لعدد٢ طلمبة على التوالى متقاربين جداً من بعضهما البعض
* لذلك نحدد نقطة التشغيل للجزء الأول من الخط وعندها نجد أن

$$Q = 433.33 \ mt^3/hr \ @ \ H = 931 \ mt$$

ثالثاً: يتم رسم خط إنحدار الضغط H.G على مسار خط الأنابيب Profile بالشكل(٤٩) وبنفس مقياس الرسم

* نحدد قيمة Head التدفيع لمحطة الرفع الأولى وهو يساوى ٩٣١ متر وأيضاً نحدد قيمة Head السحب عند محطة الرفع الثانية عن طريق حساب فاقد الإحتكاك بالخط من محطة الرفع الأولى إلى محطة الرفع الثانية

$$h_f = 17.5425 \frac{10^{0.25}(70)\,433.33^{1.75}}{11.626^{4.75}} = 781.32 \ mt$$

* يتضح أن Head السحب لمحطة الرفع الثانية يساوى صفر حيث يتقاطع خط إنحدار الضغط مع مسار الخط بموقع محطة الرفع الثانية

* نحدد قيمة Head التدفيع لمحطة الرفع الثانية وهو يساوى ٩٣١ متر وأيضاً نحدد قيمة Head الإستلام عند محطة الإستلام عن طريق حساب فاقد الإحتكاك بالخط من محطة الرفع الثانية إلى محطة الإستلام $h_f = 1004.55 \ mt$

* يتبين من شكل(٤٩) أن خط إنحدار الضغط(**I** قبل تركيب الطلمبة المناولة) لم يمر بقمة التل H_2 ولكن يتقاطع مع مسار الخط Profile بنقطة قبل قمة التل H_2 بمسافة حوالى ٧,٣٣ كيلومتر مما يتسبب فى حدوث ضغط سالب Vacuum داخل الخط بالمنطقة المحيطة بقمة التل H_2

* يجب أن يمر خط إنحدار الضغط H.G بقمة التل H_2 إن لم يكن أعلى منها

* يجب تركيب طلمبة مناولة تعطى ٥٠٠ متر^٣^/ساعة عند ١٠٠ متر Head بمحطة الرفع الأولى

* يتم تعديل رسم خط إنحدار الضغط(II بعد تركيب الطلمبة المناولة) بعد إضافة Head الطلمبة المناولة وهو حوالى ١٠٠ متر بمحطة الرفع الأولى فقط عند نفس المعدل ٤٣٣,٣٣ م٣/ساعة كما يتضح من شكل(٤٩)

* يتبين مما سبق الآتى:

١ – ضغط التدفيع(الطرد) لمحطة الرفع الأولى يساوى

$$(100 + 931) \times \frac{0.86}{10} = 88.7 \ Kg/cm^2$$

٢ – ضغط الخط عند قمة التل H_1 يساوى

$$122.5 \times \frac{0.86}{10} = 10.5 \ Kg/cm^2$$

٣ – ضغط السحب لمحطة الرفع الثانية يساوى

$$100 \times \frac{0.86}{10} = 8.6 \ Kg/cm^2$$

٤ – ضغط التدفيع(الطرد) لمحطة الرفع الثانية يساوى

$$8.6 + \left(931 \times \frac{0.86}{10} \right) = 8.6 + 80.1 = 88.7 \ Kg/cm^2$$

٥- ضغط الخط عند محطة الإستلام يساوى

$$127.5 \times \frac{0.86}{10} = 11\ Kg/cm^2$$

مما يستوجب تركيب بلف خنق Throttling Valve على خط الأنابيب بمحطة الإستلام للحفاظ على ضغط الخط قبل البلف فى حدود ١١ كجم/سم٢(يمكن إستخدام بلف خنق من نوع Globe Valve)

٦- ضغط الخط عند النقطة H_3 أى قبل محطة الإستلام بحوالى ١٠ كيلومتر يساوى

$$\left(-11.25 \times \frac{0.86}{10} = -\ 0.97\ \ Kg/cm^2\right)$$

وهذا الضغط يقل عن الضغط البخارى للزيت الخام وهو يساوى (١,٠٣ – ٠,٥) كجم/سم٢ Vacuum أى – ٠,٥٣ كجم/سم٢ مما يتسبب فى تحول الزيت إلى بخار بهذه النقطة ولكى نتلاشى حدوث هذه الظاهرة يجب زيادة الخنق على خط الأنابيب بمحطة الإستلام وذلك للحفاظ على ضغط الخط عند النقطة H_3 لا يقل عن حوالى٢٥ متر Head (٢,١٥ كجم/سم٢) أى للحفاظ على ضغط الخط قبل بلف الخنق أكبر من ١١ كجم/سم٢ بقيمة ٣ كجم/سم٢ (٣٥ متر Head) أى ١٤ كجم/سم٢ مما يتسبب فى إنخفاض الكمية المنقولة من ٤٣٣,٣٣ م٣/ساعة إلى ٤٢٣,٣٣ م٣/ساعة كما يتضح من شكل(٥٠) أى تكون الكمية المنقولة من محطة الرفع الأولى تساوى ٤٢٣,٣٣ م٣/ساعة

رابعاً: يتم حساب القدرة المستهلكة بمحطة الدفع من معادلة حساب الكفاءة الكلية للطلمبات التى تعمل على التوالى

$$\eta = \frac{sp.gr.\ Q}{270} \times \frac{\sum H}{\sum HP}$$

* بالرجوع إلى منحنيات الأداء للطلمبات شكل(٥٠) نجد أن كفاءة الطلمبة = ٧٩,٥% عند المعدل ٤٢٣,٣٣ م٣/ساعة

* حيث أن الطلمبات متماثلة تكون الكفاءة الكلية للطلمبات التى تعمل على التوالى هى نفس كفاءة الطلمبة الواحدة

* تكون القدرة المستهلكة بمحطة الدفع الأولى $\sum HP$ تساوى

$$0.795 = \frac{0.86(423.33)}{270} \times \frac{(100+931)}{\sum HP}$$

$$\sum HP = 1749\ \text{horsepower}$$

* تكون القدرة المستهلكة بمحطة الدفع الثانية $\sum HP$ تساوى

$$0.795 = \frac{0.86(423.33)}{270} \times \frac{931}{\sum HP}$$

$$\sum HP = 1579\ \ \text{horsepower}$$

* القدرة المستهلكة بمحطة الدفع تساوى مجموع القدرة الداخلة لعمود كل طلمبة

خامساً: لرفع كفاءة الخط بنسبة ٢٥% من ٤٢٣,٣٣ م٣/ساعة إلى ٥٢٩,١٦ م٣/ساعة

* بالرجوع إلى معادلة المهندس/حسن وجدى لرفع كفاءة خط الأنابيب بتركيب خط أنابيب إضافى Loop (الباب الرابع) وبإختيار قطر الـ Loop بنفس قطر الخط الأصلى ١٢" نجد أن طول الـ Loop بالجزء الأول من الخط يساوى

$$A_L = \frac{70\left(1-\frac{1}{1.25^{1.75}}\right)}{1-\frac{1}{\left[\left(\frac{11.626}{11.626}\right)^{2.714285}+1\right]^{1.75}}} = 32.204\ Kmt$$

ويراعى تركيب الـ Loop فى المدى الذى يقع من محطة الدفع الأولى إلى قمة التل H_1

* وأيضاً نجد أن طول الـ Loop بالجزء الثانى من الخط يساوى

$$A_L = \frac{90\left(1-\frac{1}{1.25^{1.75}}\right)}{1-\frac{1}{\left[\left(\frac{11.626}{11.626}\right)^{2.714285}+1\right]^{1.75}}} = 41.405\ Kmt$$

$$= \frac{32.204}{70}\times 90 = 41.405\ Kmt$$

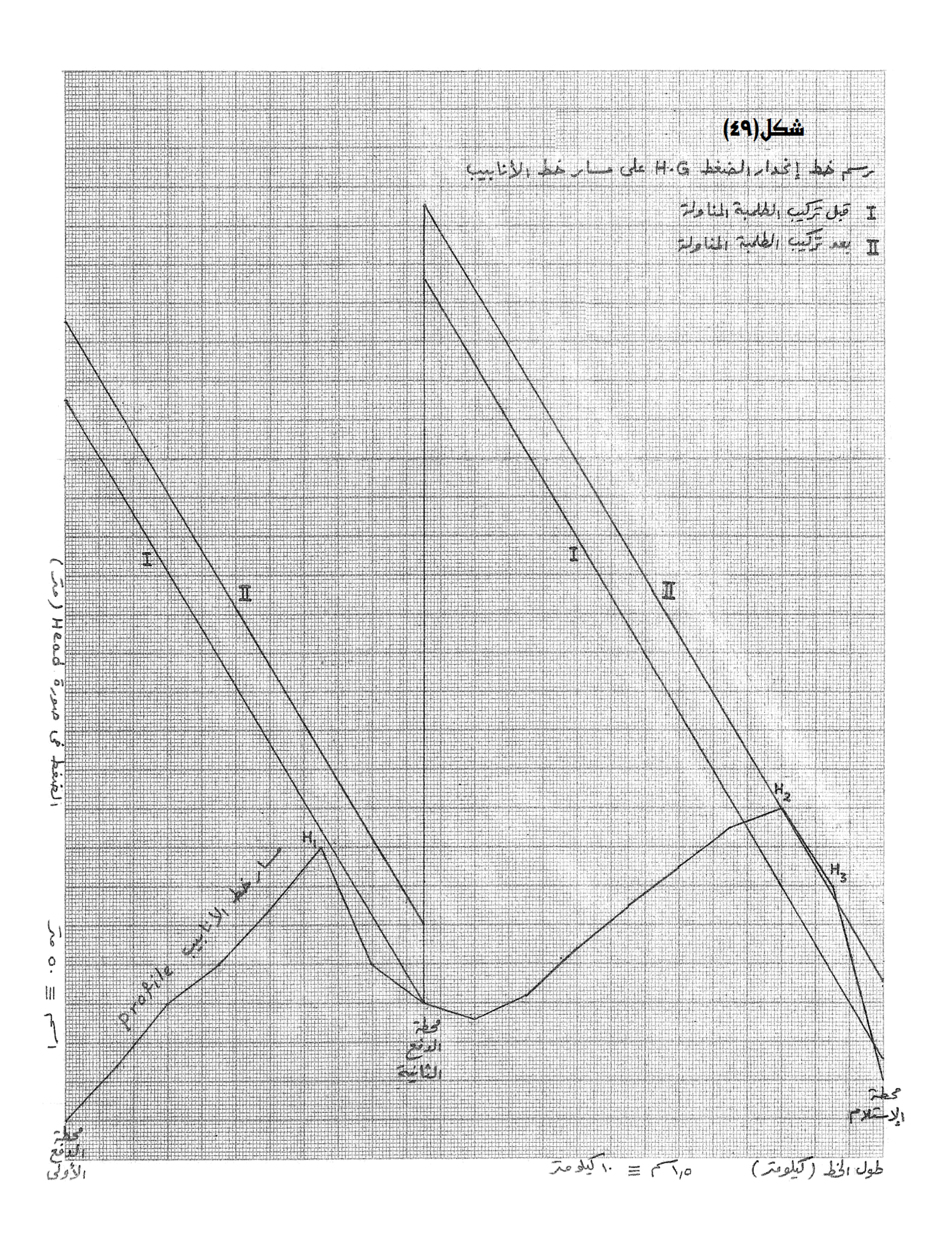
ويراعى تركيب الـ Loop فى المدى الذى يقع من محطة الدفع الثانية إلى قمة التل H_2

* نسبة الزيادة فى القدرة المستهلكة بكل محطة رفع تساوى نفس نسبة رفع كفاءة الخط أى تساوى ٢٥% وبإفتراض أن الكفاءة الكلية للطلمبات ثابتة وهى تساوى ٧٩,٥%

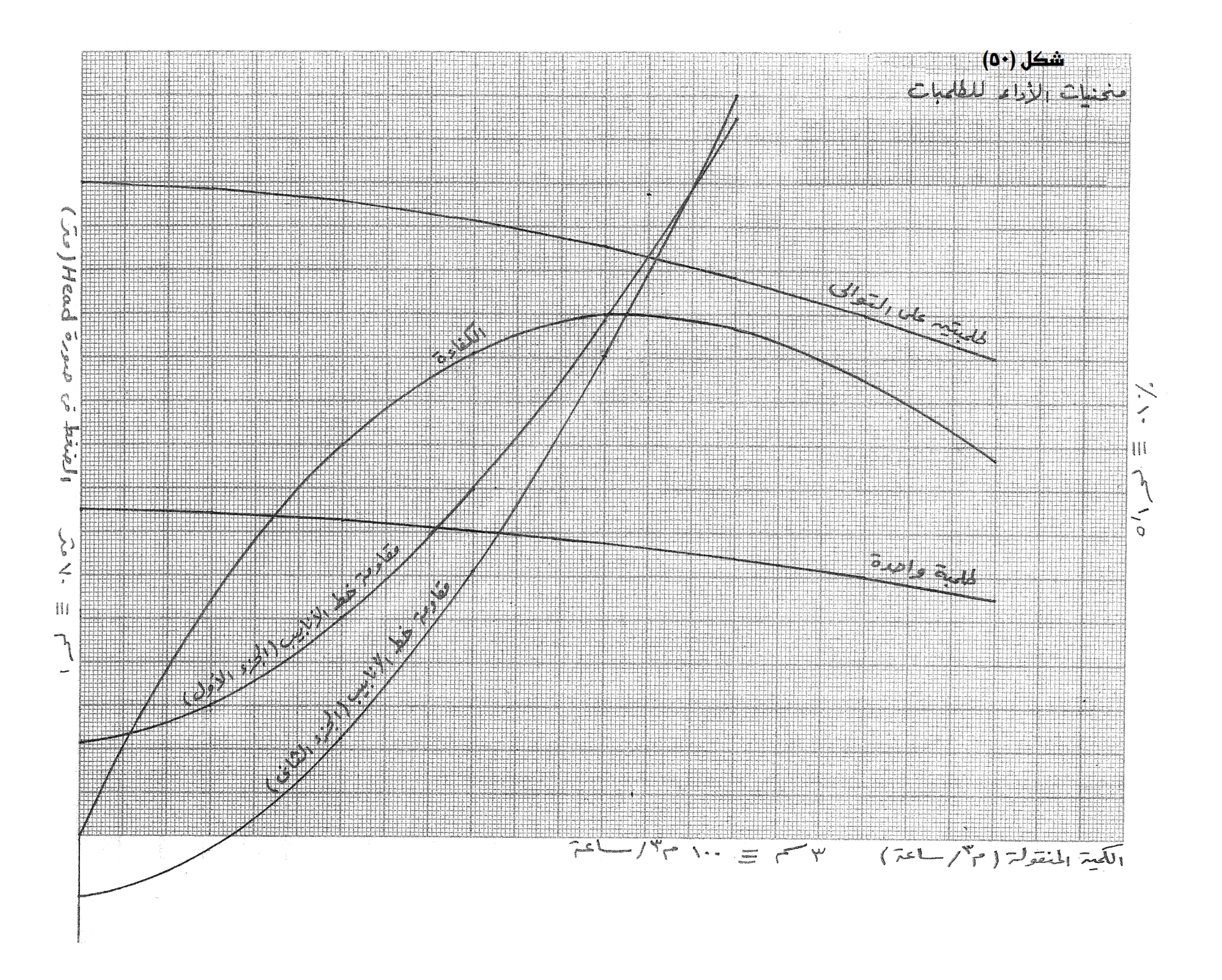
نجد أن القدرة المستهلكة بمحطة الدفع الأولى تساوى $\sum HP = 1.25\,(1749) = 2186$

وأيضاً تكون القدرة المستهلكة بمحطة الدفع الثانية تساوى $\sum HP = 1.25\,(1579) = 1974$

* <u>يمكن الرجوع إلى ملحق٦ لتوضيح ظاهرة الطرق المائى/الـ Surge بخطوط الأنابيب</u>


رسم خط إنحدار الضغط H.G على مسار خط الأنابيب
I قبل تركيب الطلمبة المناولة
II بعد تركيب الطلمبة المناولة
I
II
I
II
H_1
H_2
H_3
Profile مسار خط الأنابيب
الضغط في صورة Head (متر)
١سم ≡ ٥٠ متر
محطة الدفع الأولى
محطة الدفع الثانية
محطة الإستلام
طول الخط (كيلومتر)
١,٥سم ≡ ١٠ كيلومتر

شكل(٤٩)


شكل (٥٠)
منحنيات الأداء للطلمبات
طلمبتين على التوالي
الكفاءة
طلمبة واحدة
مقاومة خط الأنابيب (الجزء الأول)
مقاومة خط الأنابيب (الجزء الثاني)
الكمية المنقولة (م٣/ساعة) ٣ سم ≡ ١٠٠ م٣/ساعة
١ سم ≡ ٧٠ متر الضغط في صورة Head (متر)
١,٥ سم ≡ ١٠٪

ملحق(٥)
ملخص المعادلات

* الضغط في صورة(Head) بالمتر = الضغط بالكجم/سم٢ $\times \frac{10}{sp.gr}$

* الضغط المطلق = الضغط العيارى + الضغط الجوى

Absolute Pressure = Gage Pressure + Atmospheric Pressure

* أقصى إرتفاع يمكن أن يصل إليه الماء داخل ماسورة رأسية بتأثير الضغط الجوى يساوى١٠ متر

* معادلة الإستمرار Continuity Equation

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Q : معدل السريان Flow Rate(م٣/ ثانية)

A_1 : مساحة المقطع ١ فى الأنبوبة(متر٢)

V_1 : السرعة المتوسطة العمودية عبر المقطع ١ فى الأنبوبة(متر/ثانية)

A_2 : مساحة المقطع ٢ فى الأنبوبة(متر٢)

V_2 : السرعة المتوسطة العمودية عبر المقطع ٢ فى الأنبوبة(متر/ثانية)

لتسهيل الحسابات يمكن إستخدام المعادلة الآتية:

$$Q = 1.824\ V D_i^2$$

Q : معدل السريان Flow Rate بالمتر٣/ساعة

V : سرعة الـ Flow بالمتر/ثانية

D_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

* يمكن إستخدام المعادلة الآتية فى حالة نقل البترول بخطوط الأنابيب

$$Q\left(mt^3/hr\right) = \frac{(million\ \ ton/year)\times 10^6}{7200\times sp.gr}$$

* طاقة الحركة Velocity Head وهى تساوى $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$ بالكجم . متر/ كجم أى بالمتر

V : سرعة الـ Flow بالمتر/ ثانية

g : عجلة الجاذبية الأرضية ~ ٩,٨١ متر/ ثانية^{٢}

* طاقة الضغط Pressure Head وهى تساوى $\frac{10P}{sp.gr}$ بالكجم . متر/كجم أى بالمتر

P : الضغط بالكجم/سم^{٢}

Sp.gr : الكثافة النسبية للسائل(بدون وحدات)

* طاقة الوضع Elevation Head وهى تساوى Z بالمتر

* نظرية Bernoulli's Equation

طاقة السائل عند أى نقطة على طول خط السريان فى المجرى تساوى مجموع طاقة الحركة وطاقة الضغط وطاقة الوضع ووحدتها كجم . متر/كجم أى بالمتر وهى تساوى

$$H = \frac{10P}{sp.gr} + \frac{V^2}{2g} + z$$

* معادلة حساب الـ Flow خلال المقياس ذو الفتحة Orifice Meter والتى تطبق أيضاً فى حالات السريان خلال الرشاش Jet , Sprayer or Sprinkler

$$Q = K_d \frac{\pi}{4} d_o{}^2 \sqrt{2gh}$$

Q : معدل السريان خلال الفتحة أو الرشاش بالمتر^{٣}/ثانية

K_d : معامل التصريف للفتحة أو للرشاش ويمكن إعتباره حوالى ٠,٦١

d_o : القطر الداخلى للفتحة أو للرشاش بالمتر

h : فرق الضغط خلال الفتحة أو الضغط عند الرشاش فى صورة Head بالمتر

g : عجلة الجاذبية الأرضية ~ ٩,٨١ متر/ثانية^{٢}

لتسهيل الحسابات يمكن إستخدام الوحدات المختلفة بالمعادلات الآتية:

$$h = 0.01532 \frac{Q^2}{k_d{}^2 d_o{}^4}$$

h : فرق الضغط خلال الفتحة أو الضغط عند الرشاش فى صورة Head بالمتر

Q : معدل السريان خلال الفتحة أو الرشاش بالمتر٣/ساعة

K : معامل التصريف وهو يساوى ٠,٦١

d_o : القطر الداخلى للفتحة أو الرشاش بالبوصة

أو
$$Q = 0.6662 \; k_d \; d_o{}^2 \sqrt{\frac{P}{sp.gr}}$$

Q : معدل السريان خلال الفتحة أو الرشاش باللتر/دقيقة

K_d : معامل التصريف للفتحة أو للرشاش وهو يساوى ٠,٦١

d_o : القطر الداخلى للفتحة أو للرشاش بالملليمتر

P : فرق الضغط خلال الفتحة أو الضغط عند الرشاش بالبار

Sp.gr : الكثافة النسبية للسائل المار بالفتحة أو بالرشاش(بدون وحدات)

إذا كان الضغط عند الرشاش يساوى ٢ بار تكون كمية المياه المارة بالرشاش باللتر/دقيقة تساوى

$$Q = 0.5747 \, d_o{}^2$$

d_o : القطر الداخلى للرشاش بالملليمتر

أو
$$Q = 0.0351 \; k_d \; d_o{}^2 \sqrt{\frac{P}{sp.gr}}$$

Q : معدل السريان خلال الفتحة أو الرشاش باللتر/ثانية

K_d : معامل التصريف للفتحة أو للرشاش وهو يساوى ٠,٦١

d_o : القطر الداخلى للفتحة أو للرشاش بالملليمتر

P : فرق الضغط خلال الفتحة أو الضغط عند الرشاش بالميجاباسكال(MPa)

Sp.gr : الكثافة النسبية للسائل المار بالفتحة أو بالرشاش(بدون وحدات)

مع ملاحظة أن

bar = 10^5 pa (pascal) = 1.0197 kg/cm^2

bar = 100 kpa (kilopascal)

bar = 0.1 Mpa (Migapascal)

Mpa = 10 bar

* معادلة حساب فاقد الإحتكاك Friction Losses فى حالة السريان الرقائقى(Laminar Flow) بخطوط الأنابيب

$$V(mt/\sec) < 0.0787\,\frac{\gamma(Cst)}{d(inch)}$$

$$Q(mt^3/hr) < 0.1436\,\gamma(Cst)\cdot d(inch)$$

ويكون فاقد الإحتكاك h_f فى خط الأنابيب بالمتر يساوى

$$h_f = 2.7717\,\frac{\gamma\, lQ}{d_i^{\,4}}$$

γ : اللزوجة الكينماتيكية للسائل بالسنتى ستوك

l : طول خط الأنابيب بالكيلومتر

Q : معدل السريان أو الكمية المنقولة بخط الأنابيب بالمتر٣/ ساعة

d_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

V : سرعة الـ Flow بالمتر/ثانية

* معادلة حساب فاقد الإحتكاك Friction Losses فى حالة السريان المضطرب(Turbulent Flow) بالخطوط

$$V(mt/\sec) > 0.15748\,\frac{\gamma(Cst)}{d(inch)}$$

$$Q(mt^3/hr) > 0.287\,\gamma(cst).d(inch)$$

ويكون فاقد الإحتكاك h_f فى خط الأنابيب بالمتر يساوى

$$h_f = 17.5425\,\frac{\gamma^{0.25} l\, Q^{1.75}}{d_i^{\,4.75}}$$

$$h_f = 50.22095\,\frac{\gamma^{0.25} l V^{1.75}}{d_i^{\,1.25}}$$

h_f : فاقد الإحتكاك فى خط الأنابيب بالمتر

γ : اللزوجة الكينماتيكية للسائل المنقول بخط الأنابيب بالسنتى ستوك

l : طول خط الأنابيب بالكيلومتر

Q : الكمية المنقولة بخط الأنابيب بالمتر٣/ساعة

V : سرعة سريان السائل داخل خط الأنابيب بالمتر/ثانية

d_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

ويكون فاقد الضغط بين النقطتين١ ، ٢ $(P_1 - P_2)$ بالبار يساوى

$$P_1 - P_2 = 1.72 \frac{l \; sp.gr \; \gamma^{0.25} Q^{1.75}}{{d_i}^{4.75}}$$

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل المنقول بخط الأنابيب(بدون وحدات أو جم/سم٣)

γ : اللزوجة الكينماتيكية للسائل المنقول بخط الأنابيب بالسنتى ستوك

l : طول خط الأنابيب بالكيلومتر

Q : الكمية المنقولة بخط الأنابيب بالمتر٣/ساعة

d_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

وتكون الكمية المنقولة بخط الأنابيب Q بالمتر٣/ساعة تساوى

$$Q = 0.73352 \; \frac{{d_i}^{2.714283} \left(P_1 - P_2\right)^{0.571428}}{l^{0.571428} sp.gr^{0.571428} \gamma^{0.142857}}$$

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل المنقول بخط الأنابيب(بدون وحدات أو جم/سم٣)

γ : اللزوجة الكينماتيكية للسائل المنقول بخط الأنابيب بالسنتى ستوك

l : طول خط الأنابيب بالكيلومتر

d_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

$(P_1 - P_2)$: فاقد الضغط بين النقطتين١ ، ٢ بالبار

* معادلة حساب الفواقد الثانوية Minor Losses(h_s) داخل خط الأنابيب بالمتر

$$h_s = k \frac{v^2}{2g}$$

$$h_s = \frac{0.01532 \; KQ^2}{{d_i}^4}$$

K : معامل يعتمد على نوع الفاقد ويمكن إيجاده من جدول٢(الباب الأول)

V : سرعة الـ Flow داخل خط الأنابيب بالمتر/ثانية

Q : معدل السريان بالمتر٣/ساعة

d_i : القطر الداخلى لخط الأنابيب بالبوصة

g : عجلة الجاذبية الأرضية ~٩,٨١ متر/ثانية٢

* درجة جودة البترول المقررة بمعرفة معهد البترول الأمريكى(Degrees AP)

$$Degrees\ API = \frac{141.5}{sp.gr\ 60/60^{\circ}F} - 131.5$$

* الزيت الخام الخفيف الذى له درجة جودة أعلى من API 38(أى له كثافة أقل من ٠,٨٣٥ جم/سم[٣] عند ١٥,٦°م) يكون عادة له لزوجة أقل من ٧,٤ سنتى ستوكس عند ٢١°م

* التكلفة الكلية لنقل البترول بخط الأنابيب تساوى

$$\text{التكلفة الكلية للنقل(دولار/طن)} = \frac{\text{إجمالى التكاليف السنوية للمشروع(دولار)}}{\text{كمية السائل المنقولة فى العام(طن)}}$$

* الحد الأدنى للقطر الداخلى لخط أنابيب نقل البترول بالبوصة

$$Minimum\ D_i = \sqrt{\frac{Q_{ultimate}}{1.824 \times 3}}$$

* الحد الأقصى للقطر الداخلى لخط أنابيب نقل البترول بالبوصة

$$Maximum\ D_i = \sqrt{\frac{Q_{ultimate}}{1.824 \times 1.5}}$$

حيث أن $Q_{Ultimate}$: الكمية القصوى المنقولة بخط الأنابيب بالمتر[٣]/ساعة

* مصاريف إستهلاك الكهرباء السنوية للمحرك الكهربائى تساوى

(٠,٧٤٦× قدرة التشغيل الفعلية Rated للمحرك بالحصان English) × ٢٤ساعة × ٣٦٥ يوم × سعر إستهلاك الكهرباء للكيلووات ساعة

* مصاريف إستهلاك الكهرباء السنوية للمحرك الكهربائى تساوى

(٠,٧٣٥× قدرة التشغيل الفعلية Rated للمحرك بالحصان Metric) × ٢٤ساعة × ٣٦٥ يوم × سعر إستهلاك الكهرباء للكيلووات ساعة .

* بالرجوع إلى كفاءة الطلمبة(الباب الخامس) وبإفترض أن نسبة الحمل الزائد = ١٠% تكون

قدرة المحرك = قدرة التشغيل الفعلية Rated للمحرك × ١,١٠

* <u>مصاريف الإهلاك السنوية للطلمبة</u> تساوى

٤% القدرة الفعلية للمحرك بالكيلووات × ١,٣٤ × سعر شراء وحدة الضخ كاملة Skid للحصان(English)

* مصاريف الإهلاك السنوية للطلمبة تساوى

٤% القدرة الفعلية للمحرك بالكيلووات × ١,٣٦ × سعر شراء وحدة الضخ كاملة Skid للحصان(Metric)

* <u>معادلة حساب السمك التصميمى لخط الأنابيب</u>

$$PD_o = 2\ \sigma_{all}\ t$$
$$= 1.44\ \sigma_y\ t$$

P : هو ضغط تحمل المواسير وهو يعادل ضغط الإختبار للخط ، على سبيل المثال يساوى ١٠٢ بار أى ١٠٤ كجم/سم^{٢} للـ Class 600 الخاص بتصنيف الضغط لمعهد القياسات القومية الأمريكى (ANSI) ويمكن الرجوع إلى جدول(٦) بالباب الثانى لمعرفة ضغوط الإختبار للـ Classes المختلفة من البلوف أو الفلانشات

D_o : القطر الخارجى للخط

σ_{all} : الإجهاد المسموح به لمعدن الخط ويمكن إفتراض أنه يساوى $0.72\ \sigma_y$

σ_y : الحد الأدنى لإجهاد الخضوع لمعدن الخط وهو يساوى ٣٥٠٠٠ رطل/بوصة^{٢} للمواسير من نوع Grade B يساوى ٥٢٠٠٠ رطل/بوصة^{٢} للمواسير من نوع X-52

t : السمك التصميمى لخط الأنابيب

* <u>معادلة حساب رقم الجدول Schedule Number للمواسير</u>

$$\text{Schedule Number} = 1000\frac{P}{\sigma_{all}} = 1388.88\frac{P}{\sigma_y} = 2000\frac{t}{D}$$

* ضغط تحمل المواسير(ضغط الإختبار للخط) يساوى تقريباً ١,٤٨ ضغط التشغيل للخط

* وزن المتر الطولى بالكيلوجرام من ماسورة حديد(صلب كربونى كثافته ٧,٨٥ جم/سم^{٣} أو ٧,٨٥ طن/م^{٣}) يساوى $0.6264\ D_m\ t$

D_m : القطر المتوسط للماسورة بالبوصة وهو يساوى(القطر الخارجى + القطر الداخلى)/٢

t : سمك الماسورة بالملليمتر

* معادلة المهندس حسن وجدى لحساب قطر وطول خط الأنابيب الإضافى Loop واللازم لرفع كفاءة خط الأنابيب الموجود

$$D_L = D\left[\frac{1}{\left(1-\frac{A}{A_L}(1-\frac{1}{R^{1.75}})\right)^{0.571428}}-1\right]^{0.368421}$$

$$A_L = \frac{A(1-\frac{1}{R^{1.75}})}{1-\frac{1}{\left[(\frac{D_L}{D})^{2.714285}+1\right]^{1.75}}}$$

D_L : القطر الداخلى لخط الأنابيب الإضافى Loop(بوصة)

D : القطر الداخلى لخط الأنابيب الموجود(بوصة)

A_L : طول خط الأنابيب الإضافى Loop(كيلومتر)

A : طول خط الأنابيب الموجود(كيلومتر)

R : نسبة رفع كفاءة الخط وهى نسبة الكمية المنقولة(المعدل) بعد تركيب الـ Loop وهى Q_2 إلى الكمية المنقولة(المعدل) قبل تركيب الـ Loop وهى Q_1 وتكون هذه النسبة أكبر من ١

* معادلة حساب مقاومة خط الأنابيب $H = Z + (P_d - P_s)\frac{10}{Sp.gr} + h_t$

H : مقاومة خط الأنابيب بالمتر

Z : فرق المنسوب للسائل بين خزان الطرد وخزان السحب بالمتر

$(P_d - P_s)$: فرق الضغط إن وجد بين عند سطح السائل فى خزان الطرد وعند سطح السائل فى خزان السحب بالكجم/سم^2

h_t : الفاقد الكلى فى خط الأنابيب(بخطى السحب والطرد) وهو عبارة عن(فاقد الإحتكاك h_f) و(الفواقد الثانوية h_s) بالمتر

* بإفتراض أن الضغط ثابت عند سطح خزانى الطرد والسحب ، مقاومة خط الأنابيب تساوى

$$H = Z + C_1 Q^{1.75} + C_2 Q^2$$

حيث أن C_1 معامل يساوى $\frac{17.5425\,\gamma^{0.25}\,l}{d_i^{4.75}}$ ، C_2 معامل يساوى $\frac{0.01532\,K}{d_i^{4}}$

* بإدخال الطول المكافئ للفواقد الثانوية ولتسهييل الحسابات تكون مقاومة خط الأنابيب H بالمتر تساوى

$$H = Z + C\,Q^{1.75}$$

حيث أن C معامل يساوى $\frac{17.5425\,\gamma^{0.25}\,(l + l_{eq})}{d_i^{4.75}}$

ويعتمد المعامل C أساساً على قطر وطول خط الأنابيب بالبوصة والكيلومتر وذلك فى حالة نقل سائل معين لزوجته γ بالسنتى ستوك وتمثل المعادلة $H = Z + C\,Q^{1.75}$ منحنى مقاومة خط الأنابيب لسريان السائل Pipe Curve

l_{eq} هو الطول المكافئ للفواقد الثانوية Minor Losses بالخط ، حيث أننا نستخدم طريقة أخرى لحساب الفواقد الثانوية وهى طريقة الأطوال المكافئة Equivalent Length بمعنى أن أى مصدر من مصادر الفواقد الثانوية يعطى فى صورة طول مستقيم من الأنبوبة بشرط أن يكون فاقد الإحتكاك فى هذا الطول يساوى الفاقد الثانوى

* معادلة حساب القدرة الداخلة إلى عمود الطلمبة بالحصان

$$\text{HP (Metric)} = \frac{sp.gr\,Q_n\,H_n}{270\,\eta}$$

* قدرة المحرك المطلوب لتدوير الطلمبة بالكيلووات تساوى

$$\text{Power(KW)} = \frac{sp.gr\,Q_n\,H_n}{367.2\,\eta} \times Overload\ Factor$$

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل المتداول بالطلمبة

Q_n : معدل السريان الذى تعطيه الطلمبة عند نقطة أحسن كفاءة بالمتر٣/ساعة

H_n : الضغط الكلى فى صورة Head الذى تعطيه الطلمبة عند نقطة أحسن كفاءة بالمتر

η : كفاءة الطلمبة

* لبعض أنواع الطلمبات وخصوصاً الصغيرة نسبياً يمكن تسهيل الحسابات بإفتراض أن القيمة التقريبية للكفاءة تتراوح بين ٥٠% : ٧٠%(أى فى المتوسط ٦٠%)

* يتم إختيار المحرك بقدرة أكبر من هذه القدرة المحسوبة بمقدار من١٠% إلى٥٠%

* لبعض أنواع الطلمبات وخصوصاً الصغيرة نسبياً يمكن تسهيل الحسابات بإفتراض أن معامل الحمل الزائد يساوى فى المتوسط ٣٠%

$$HP\ (Metric) = 75\ kg.mt/sec$$
$$kw = 1.36\ HP\ (Metric)$$

* معادلة حساب الفاقد فى قدرة الطلمبات خلال مجمعات(بلوف التحكم أو أجهزة القياس) أو خلال شبكات الخطوط الداخلية بالمحطات

$$HP\ (Metric) = \frac{\Delta P_{LOSS}\, Q}{27\eta}$$

ΔP_{LOSS} : فاقد الضغط خلال مجمعات(بلوف التحكم أو أجهزة القياس) أو خلال شبكات الخطوط الداخلية بالمحطات بالكجم/ سم٢

Q : معدل السريان بالمتر٣/ساعة

η : الكفاءة الكلية للطلمبات أو(كفاءة الطلمبة الواحدة إذا كانت الطلمبات متماثلة) ، وفى بعض الأحوال يمكن إفتراض أنها تساوى ٨٢%

* معادلات إستنتاج منحنى أداء الطلمبة عند السرعة n_2 من منحنى أداء نفس الطلمبة عند السرعة n_1

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad , \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \& \quad \frac{HP_1}{HP_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

* معادلات إستنتاج منحنى أداء طلمبة قطر المروحة الخارجى لها D_2 من منحنى أداء نفس الطلمبة عندما يكون قطر المروحة الخارجى لها D_1 وذلك لنفس سرعة الدوران

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad , \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad \& \quad \frac{HP_1}{HP_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$$

* معادلة حساب السرعة النوعية للمروحة Impeller Specific Speed (n_s)

$$n_s(water) = 0.8607\ n\ \frac{\sqrt{Q}}{H^{0.75}}$$

n : سرعة دوران المروحة(rpm)

Q : معدل السريان للمروحة(م٣/ساعة)

H : الضغط المانومترى للمروحة فى صورة Head بالمتر عند نقطة أحسن كفاءة

$$n_s(oil) = n_s\ (water)\sqrt{sp.gr_{oil}}$$

* معادلة حساب المقدار الصافى لضغط السحب الموجب لنظام السحب فى صورة Head بالمتر

(Available Net Positive Suction Head)

$$Available NPSH = \left(H_{atm} - H_{vap}\right) + \left(H_{SS} - H_{LS} - \frac{Vs^2}{2g}\right)$$

H_{atm} : الضغط الجوى في صورة Head بالمتر ويساوى ١٠,٣ متر Head مياه

H_{vap} : الضغط البخارى للسائل المار بنظام السحب فى صورة Head بالمتر (موجب)

H_{ss} : هيد (Head) السحب الإستاتيكى بالمتر (موجب إذا كان مستوى السائل أعلى من المستوى القياسى للطلمبة ، سالب إذا كان مستوى السائل أقل من المستوى القياسى للطلمبة)

H_{LS} : الفواقد فى خط السحب وتشمل فاقد الإحتكاك والفواقد الثانوية فى صورة Head (موجب)

$\frac{V_S^{\ 2}}{2g}$: طاقة حركة السائل فى خط السحب بالمتر (موجب)

* معادلة حساب ضغط السحب المانومترى للطلمبة فى صورة Head بالمتر (موجب أو سالب)

$$H_{ms} = \left(H_{SS} - H_{LS} - \frac{Vs^2}{2g}\right)$$

H_{ss} : هيد (Head) السحب الإستاتيكى بالمتر (موجب إذا كان مستوى السائل أعلى من المستوى القياسى للطلمبة ، سالب إذا كان مستوى السائل أقل من المستوى القياسى للطلمبة)

H_{LS} : الفواقد فى خط السحب وتشمل فاقد الإحتكاك والفواقد الثانوية فى صورة Head (موجب)

$\frac{V_S^{\ 2}}{2g}$: طاقة حركة السائل فى خط السحب بالمتر (موجب)

* معادلة حساب ضغط الطرد المانومترى للطلمبة فى صورة Head بالمتر (موجب أو صفر)

$$H_{md} = \left(H_{sd} + H_{Ld}\right)$$

H_{sd} : Head (هيد) الطرد الإستاتيكى بالمتر (موجب إذا كان مستوى السائل أعلى من المستوى القياسى للطلمبة ، صفر إذا كان مستوى السائل فى نفس المستوى القياسى للطلمبة)

H_{Ld} : الفواقد فى خط الطرد وتشمل فاقد الإحتكاك والفواقد الثانوية فى صورة Head بالمتر

* معادلة حساب المقدار الصافى لضغط السحب الموجب للطلمبة فى صورة Head بالمتر

(Required Net Positive Suction Head)

$$\text{Required NPSH} = \sigma H$$

σ : معامل توما للتكهف ويعتمد على السرعة النوعية فقط ويمكن إيجاده من جدول ١١(الباب الخامس)

H : الضغط الذى تعطية المروحة الأولى(المرحلة الواحدة) للطلمبة وهو يساوى الضغط الكلى للطلمبة فى صورة Head بالمتر مقسوماً على عدد المراحل

* معادلة حساب الكفاءة الكلية للطلمبات التى تعمل على التوازى

$$\eta = \frac{sp.gr.H}{270} \times \frac{\sum Q}{\sum HP}$$

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل

H : الضغط فى صورة Head بالمتر

∑Q : مجموع معدلات سريان الطلمبات بالمتر٣/ساعة

∑HP : القدرة الكلية المعطاه لكل الطلمبات بالحصان(Metric)

إذا كانت الطلمبات التى تعمل على التوازى متماثلة يمكن إفتراض أن الكفاءة الكلية للطلمبات هى نفس كفاءة الطلمبة الواحدة

* معادلة حساب الكفاءة الكلية للطلمبات التى تعمل على التوالى

$$\eta = \frac{sp.gr.Q}{270} \times \frac{\sum H}{\sum HP}$$

sp.gr : الكثافة النسبية للسائل

Q : معدل السريان بالمتر٣/ ساعة

∑H : مجموع الضغوط التى تعطيها الطلمبات فى صورة Head بالمتر

∑HP : القدرة الكلية المعطاه لكل الطلمبات بالحصان(Metric)

إذا كانت الطلمبات التى تعمل على التوالى متماثلة يمكن إفتراض أن الكفاءة الكلية للطلمبات هى نفس كفاءة الطلمبة الواحدة

* معادلة تحويل السرعة الدورانية إلى سرعة خطية والعكس

$$V = \pi \times D \times \left(\frac{N}{60}\right)$$

V : السرعة الخطية(متر/ثانية)

N : السرعة الدورانية(لفة/دقيقة)

D : قطر عمود الدوران(متر)

$$N = \frac{V}{\pi D}$$

N : السرعة الدورانية(لفة/ثانية)

V : السرعة الخطية(متر/ثانية)

D : قطر عمود الدوران(متر)

* معادلة حساب القوة الطاردة المركزية(F) بالكيلوجرام والناتجة عن دوران ثقل كتلته(M) بالجرام بسرعة(N) باللفة/دقيقة ، ويبعد مركز الثقل مسافة(R) بالسنتيمتر عن سنتر عمود الدوران

$$F = 1.119 \times 10^{-8} M N^{2} R^{3}$$

ملحق(٦)
ظاهرة الطرق المائى/ الــ Surge فى خطوط الأنابيب

تعريف ظاهرة الطرق المائى/ الـ Surge بخطوط الأنابيب

* عند السريان المستقر Steady Flow لأى سائل داخل خط الأنابيب بسرعة معينة تكون:

كمية الحركة التى يكتسبها السائل = كتلة السائل × سرعة السريان

* عند التغير السريع/المفاجئ لظروف تشغيل خط الأنابيب أى التغير السريع/المفاجئ من السريان المستقر Steady Flow إلى السريان الغير مستقر Unsteady or Transient Flow والذى يتمثل فيما يلى:

١ – الغلق السريع المفاجئ/الإضطرارى للمحابس(للبلوف) Slam Shut off وأحياناً الفتح السريع للمحابس(للبلوف)

٢ – التوقف المفاجئ/الإضطرارى للطلمبات Emergency Shut Down(ESD) وأحياناً بدء تشغيل الطلمبات على خط طرد فارغ أى غير ممتلئ بالسائل(به هواء/أبخرة)

٣ – وأحياناً إنخفاض فى مساحة المقطع الداخلى للخط أو إرتفاع فى مساحة المقطع الداخلى للخط وأحياناً إرتفاع معدل السريان فجأة عند فتح بلف فرعى على الخط أو حدوث كسر بالخط أو إنفصال بإحدى الفلنشات المركبة على خط الأنابيب

مما يترتب على ما سبق تغير سريع/مفاجئ فى سرعة السريان أى تغير سريع/مفاجئ فى كمية الحركة التى يكتسبها السائل وبالتالى تغير سريع/مفاجئ فى قوة إندفاع السائل داخل الخط أى تغير سريع/مفاجئ فى ضغط السائل داخل الخط مما يسبب حدوث الآتى:

* ذبذبة الضغط Pressure Pulse أى إهتزاز Vibration جزيئات السائل ينتج عنه حركة موجية أى موجة صوتية Acoustic Wave(موجة طولية) تنتقل عبر كلاً من السائل ومعدن الخط بسرعة الصوت وتسبب حدوث طرق وفرقعة وضوضاء وإهتزازات بخط الأنابيب وملحقاته ويطلق على هذه الظاهرة إسم الطرق المائى Water Hammer وإذا كانت الطاقة الصوتية كبيرة بدرجة كافية يحدث كسر بالملحقات المركبة على خط الأنابيب مثل المشغلات Actuators الخاصة بالمحابس(البلوف) وماشابه ذلك وخصوصاً عند تساوى التردد الطبيعى للمشغل Actuator والذى ينشأ عن إهتزاز جزيئاته مع تردد الموجة الصوتية الناشئة من الإهتزازات الناجمة عن ظاهرة الطرق المائى ، ويمكن قياس الصوت/ الضوضاء Noise (الناتج من ذبذبة الضغط أى الإهتزاز) بتركيب حساس صوتى Acoustic Sensor يلامس السائل المار داخل الخط ويطلق عليه إسم Hydrophone أو قياس الإهتزازات Vibration بمعدن الخط والناتجة من ذبذبة الضغط بتركيب حساس إهتزازات على المحيط الخارجى للخط ويطلق عليه إسم Accelerometer

وفى حالة تركيب حساس صوتى داخلى Hydrophone فى الخطوط المارة بالبلدان الجبلية يجب مراعاة الإحتياطات اللازمة لعدم تلف الحساس بسبب الضغوط المرتفعة الناتجة من حدوث ظاهرة الـ Surge

* نتيجة التغير السريع/المفاجئ فى سرعة السريان(أكبر من ٥ متر/ثانية) يحدث إرتفاع سريع/مفاجئ فى ضغط السائل بالخط وقد يصل إلى ١٠ أمثال ضغط التشغيل العادى لخط الأنابيب أى يتعدى ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن الخط مما يؤدى إلى حدوث كسر بخط الأنابيب أو إنفصال بإحدى الفلنشات المركبة على خط الأنابيب وحدوث تسرب للسائل منها ويطلق على هذه الظاهرة إسم الـ Surge وتظهر بصورة واضحة فى الخطوط المارة بالبلدان الجبلية(أى فى حالة أن تكون الفروق بين مناسيب الأرض على طول مسار خط الأنابيب Profile كبيرة مقارنة بـ Head التدفيع)

حساب قيمة ضغط الـ Surge فى حالة التغير التدريجى فى سرعة السريان(على سبيل المثال عند غلق البلف تدريجياً)

بإفتراض وجود خط أنابيب ويوجد فى بداية الخط محطة ضخ(تدفيع) ويوجد فى نهاية الخط بلف(محبس) حيث تنطبق هذه الحالة عندما يكون معدل تغير السريان بطئ أى عندما تكون الفترة الزمنية لغلق البلف ΔT أكبر من الزمن المستغرق لحركة موجة الضغط من بدء تكونها عند البلف إلى محطة التدفيع وعودتها مرة أخرى إلى البلف أى أكبر من ضعف طول خط الأنابيب 2L مقسوماً على سرعة الصوت فى السائل المنقول بالخط C أى $\Delta T > \frac{2L}{C}$ ، وحيث أنه خلال فترة زمنية مقدارها ΔT من لحظة غلق البلف إنخفضت سرعة السريان بمقدار ΔV وإرتفع الضغط فى صورة Head عند البلف بمقدار ΔH بالمتر ويطلق عليه ضغط الـ Surge أى Surge Pressure ويساوى

$$\Delta H = 101.94 \times L \times \left(\frac{\Delta V}{\Delta T} \right)$$

L : طول خط الأنابيب بالكيلومتر

ΔV : مقدار التغير فى سرعة السريان بالمتر/ثانية

ΔT : الفترة الزمنية لغلق البلف بالثانية

* قوة إندفاع السائل داخل الخط = معدل التغير فى كمية الحركة

= كتلة السائل بالخط × معدل التغير فى سرعة سريان السائل

* كتلة السائل بالخط = الحجم الداخلى للخط × كثافة السائل

* ضغط إندفاع السائل داخل الخط = قوة إندفاع السائل داخل الخط/مساحة مقطع خط الأنابيب

* يتم ضبط الوحدات مع إعتبار أن

$$N\ (Newton) = kg\ .\ mt / sec^2$$
$$kg = 9.81\ Newton$$

* سرعة الصوت فى السائل المنقول بخط أنابيب جاسئ Rigid (غير مرن) تساوى

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

* سرعة الصوت فى السائل المنقول بخط أنابيب مرن Elastic تساوى

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho\left(1 + \frac{K\,d}{E\,t}\right)}}$$

ρ : كثافة السائل المنقول بالخط

K : معامل تغير الحجم للسائل المنقول بالخط Bulk Modulus

E : معامل المرونة لخط الأنابيب Modulus of Elasticity

d : القطر الداخلى لخط الأنابيب

t : سمك خط الأنابيب

حساب قيمة ضغط الـ Surge فى حالة التغير المفاجئ فى سرعة السريان(على سبيل المثال عند غلق البلف فجأة)

بإفتراض وجود خط أنابيب ويوجد فى بداية الخط محطة ضخ(تدفيع) ويوجد فى نهاية الخط بلف(محبس) تنطبق هذه الحالة عندما يكون معدل تغير السريان سريع أى عندما تكون الفترة الزمنية لغلق البلف ΔT أصغر من الزمن المستغرق لحركة موجة الضغط من بدء تكونها عند البلف إلى محطة التدفيع وعودتها مرة أخرى إلى البلف أى أصغر من ضعف طول خط الأنابيب 2L مقسوماً على سرعة الصوت فى السائل المنقول بالخط C أى $\Delta T < \frac{2L}{C}$ ، وحيث أنه خلال فترة زمنية مقدارها ΔT من لحظة غلق البلف إنخفضت سرعة السريان بمقدار ΔV وإرتفع الضغط فى صورة Head عند البلف بمقدار ΔH بالمتر ويطلق عليه ضغط الـ Surge أى Surge Pressure ويساوى

$$\Delta H = 101.94 \times C \times \Delta V$$

C : سرعة الصوت فى السائل المنقول بالخط بالكيلومتر/ثانية

ΔV : مقدار التغير فى سرعة السريان بالمتر/ثانية

حيث فى هذه الحالة تم وضع سرعة الصوت C فى السائل المنقول بالخط بالكيلومتر/ثانية بدلاً من $\frac{L}{\Delta T}$ الموجودة بمعادلة حساب ضغط الـ Surge أى Surge Pressure فى حالة التغير التدريجى فى سرعة السريان

* بإفتراض أن سرعة الصوت فى السائل المنقول بالخط تساوى ١,٥ كيلومتر/ثانية نجد أن

$$\Delta H = 152.91\,\Delta V$$

أى أنه إذا كان مقدار التغير فى سرعة السريان(أكبر من ٥ متر/ثانية) فإن ضغط الـ Surge سوف يتعدى ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن الخط وهو ٧٠ بار(sp.gr = 1)

تطبيقات على طريقة حساب قيمة ضغط الـ Surge

مثال ١

خط أنابيب صلب قطره الداخلى ١٣٠ ملليمتر وسمكه ٤ ملليمتر وطوله ١٠ كيلومتر ينقل ماء من خزان بمعدل سريان قدره ١٤٠ متر^{٣}/ساعة أى بسرعة سريان ٢,٩٣ متر/ثانية

$$\left(V = \frac{353.706\,Q}{{d_i}^2} = \frac{353.706 \times 140}{130^2} = 2.93 \ mt/\sec\right)$$

إذا تم تركيب محبس(بلف) فى نهاية خط الأنابيب

إحسب قيمة الإرتفاع فى الضغط Surge Pressure عند البلف

وذلك إذا تم غلق البلف خلال ٢٠ ثانية ، ١٠ ثوانى فى الحالات الآتية:

١– بإهمال مرونة خط الأنابيب Rigid Pipe

٢– بإعتبار مرونة خط الأنابيب Elastic Pipe

الإفتراضات:

* معامل المرونة Modulus of Elasticity للصلب يساوى $E = 210 \ GN/mt^2$

* معامل تغير الحجم Bulk Modulus للماء يساوى $K = 2 \ GN/mt^2$

GN(Giga Newton = 10^9 Newton)

* كثافة الماء تساوى $\rho = 1000 \ Kg/cm^2$

الحل:

١– بإهمال مرونة خط الأنابيب Rigid Pipe

نحسب سرعة موجة الضغط وهى سرعة الصوت فى السائل وتساوى

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^9}{1000}} = 1414 \ mt/\sec$$

الزمن اللازم لكى تتحرك موجة الضغط من البلف إلى الخزان ثم إلى البلف مرة أخرى يساوى

$$\frac{2L}{C} = \frac{2 \times 10000}{1414} = 14.14 \sec$$

* وحيث أنه عند $\Delta T = 20 \sec$ أى أن $\Delta T > \frac{2L}{C}$ بمعنى أنه يتم غلق البلف تدريجياً

تكون قيمة الإرتفاع فى الضغط Surge Pressure (فى صورة Head) عند البلف تساوى

$$\Delta H = 101.94 \times L \times \left(\frac{\Delta V}{\Delta T}\right) = 101.94 \times 10 \times \left(\frac{2.93}{20}\right) = 149 \ mt = 14.9 \ kg/cm^2$$

* وحيث أنه عند ΔT = 10 sec أى أن $\Delta T < \frac{2L}{C}$ بمعنى أنه يتم غلق البلف فجأة

تكون قيمة الإرتفاع فى الضغط Surge Pressure (فى صورة Head) عند البلف تساوى

$$\Delta H = 101.94 \times C \times \Delta V = 101.94 \times 1.414 \times 2.93 = 422\ mt = 42.2\ kg/cm^2$$

٢- بإعتبار مرونة خط الأنابيب Elastic Pipe

نحسب سرعة موجة الضغط وهى سرعة الصوت فى السائل وتساوى

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho\left(1 + \frac{K\,d}{E\,t}\right)}}$$

$$C = \sqrt{\frac{2 \times 10^9}{1000\left(1 + \frac{2 \times 10^9 \times 130}{210 \times 10^9 \times 4}\right)}} = 1236\ mt/\sec$$

الزمن اللازم لعودة موجة الضغط إلى البلف إلى يساوى

$$\frac{2L}{C} = \frac{2 \times 10000}{1236} = 16.18\ \sec$$

* وحيث أنه عند ΔT = 20 sec أى أن $\Delta T > \frac{2L}{C}$ بمعنى أنه يتم غلق البلف تدريجياً

تكون قيمة الإرتفاع فى الضغط Surge Pressure (فى صورة Head) عند البلف تساوى

$$\Delta H = 101.94 \times L \times \left(\frac{\Delta V}{\Delta T}\right) = 101.94 \times 10 \times \left(\frac{2.93}{20}\right) = 149\ mt = 14.9\ kg/cm^2$$

* وحيث أنه عند ΔT = 10 sec أى أن $\Delta T < \frac{2L}{C}$ بمعنى أنه يتم غلق البلف فجأة

تكون قيمة الإرتفاع فى الضغط Surge Pressure (فى صورة Head) عند البلف تساوى

$$\Delta H = 101.94 \times C \times \Delta V = 101.94 \times 1.236 \times 2.93 = 369\ mt = 36.9\ kg/cm^2$$

* بإعتبار مرونة خط الأنابيب Elastic Pipe إنخفضت قيمة ضغط الـ Surge بنسبة ١٣% عن قيمة ضغط الـ Surge عند إهمال مرونة خط الأنابيب Rigid Pipe

مثال ٢

خط أنابيب صلب قطره الداخلى٥٠ سنتيمتر(٥٠٠ ملليمتر) وسمكه ٥ سنتيمتر وطوله ٢ كيلومتر ينقل ماء من خزان بمعدل سريان ١٤٤٠ متر^3/ساعة أى بسرعة سريان ٢,٠٤ متر/ثانية

$$\left(V = \frac{353.706\,Q}{d_i^{\,2}} = \frac{353.706 \times 1440}{500^2} = 2.04\ mt/\sec\right)$$

إذا تم تركيب محبس(بلف) فى نهاية خط الأنابيب

إحسب الزمن اللازم لعودة موجة الضغط إلى البلف وأقصى طرق مائى Surge Pressure عند البلف إذا تم غلق البلف تماماً خلال زمن قدره ٢ ثانية

الإفتراضات:

* معامل المرونة Modulus of Elasticity للصلب يساوى $E = 210\ GN/mt^2$
* معامل تغير الحجم Bulk Modulus للماء يساوى $K = 2\ GN/mt^2$

GN(Giga Newton = 10^9 Newton)

* كثافة الماء تساوى $\rho = 1000\ Kg/cm^2$

الحل:

نحسب سرعة موجة الضغط وهى سرعة الصوت فى السائل وتساوى

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho\left(1 + \frac{K\,d}{E\,t}\right)}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 10^9}{1000\left(1 + \frac{2 \times 10^9 \times 50}{210 \times 10^9 \times 5}\right)}} = 1351\ mt/\sec$$

الزمن اللازم لعودة موجة الضغط إلى البلف يساوى

$$\frac{2L}{C} = \frac{2 \times 2000}{1351} = 2.96\ \sec$$

* وحيث أن $\Delta T = 2\sec < \frac{2L}{C}$ بمعنى أنه يتم غلق البلف فجأة

لذلك يكون أقصى طرق مائى Surge Pressure (فى صورة Head) عند البلف يساوى

$$\Delta H = 101.94 \times C \times \Delta V = 101.94 \times 1.351 \times 2.04 = 281\ mt = 28.1\ kg/cm^2$$

* بإعتبار مرونة خط الأنابيب Elastic Pipe إنخفضت قيمة ضغط الـ Surge بنسبة ٤,٦% عن قيمة ضغط الـ Surge عند إهمال مرونة خط الأنابيب Rigid Pipe

مثال٣

خط أنابيب PVC قطره الداخلى ١٢ بوصة وسمكه ٠,٤ بوصة ينقل ماء بمعدل سريان ١٦٠متر[٣]/ساعة أى بسرعة سريان ٠,٦١ متر/ثانية

$$V = \frac{Q}{1.824\, d_i^{\,2}} = \frac{160}{1.824 \times 12^2} = 0.61\ mt/\sec$$

إحسب قيمة الإرتفاع فى الضغط Surge Pressure الناتج من التغير المفاجئ فى سرعة السريان

الإفتراضات:

* معامل المرونة Modulus of Elasticity لخامة PVC يساوى E = 3758 MPa
* معامل تغير الحجم Bulk Modulus للماء يساوى K = 2000 MPa

$MPa(Mega\ Pascal = 10^6\ Pascal)$

* كثافة الماء تساوى $\rho = 1000\ Kg/cm^2$

الحل:

نحسب سرعة موجة الضغط وهى سرعة الصوت فى السائل وتساوى

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho\left(1 + \frac{K\, d}{E\, t}\right)}}$$

$$= \sqrt{\frac{2000 \times 10^6}{1000\left(1 + \frac{2000 \times 10^6 \times 12}{3758 \times 10^6 \times 0.4}\right)}} = 343\ mt/\sec$$

قيمة الإرتفاع فى الضغط Surge Pressure (فى صورة Head) الناتج من التغير المفاجئ فى سرعة السريان تساوى

$$\Delta H = 101.94 \times C \times \Delta V = 101.94 \times 0.343 \times 0.61 = 21.3\ mt = 2.13\ kg/cm^2$$

* بإعتبار مرونة خط الأنابيب Elastic Pipe إنخفضت قيمة ضغط الـ Surge بنسبة %٧٥,٨ عن قيمة ضغط الـ Surge عند إهمال مرونة خط الأنابيب Rigid Pipe

طرق حماية خط الأنابيب من ظاهرة الـ Surge

* التصميم الهيدروليكى لخط الأنابيب يستوجب حماية الخط من ظاهرة الـ Surge مما يتطلب تركيب نظام تهريب ضغط الـ Surge(Surge Relief System) وذلك لتهريب الضغط من خط الأنابيب خلال بلف التهريب Surge Relief Valve

* عند إرتفاع ضغط خط الأنابيب إلى الـ Set Point(١١٠% من ضغط التشغيل للخط أى ١١٠% من ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن الخط) يجب فتح بلف التهريب Surge Relief Valve بسرعة عالية ويقوم بإمرار معدل سريان عالى إلى الـ Surge Tank وذلك لتهريب الضغط المرتفع وبعد إنخفاض ضغط الخط إلى أقل من(١١٠% من ضغط التشغيل للخط) يجب غلق بلف التهريب Surge Relief Valve بسرعة وبسلاسة أى بدون عنف Without Slamming Shut off وذلك لعدم حدوث Surge إضافى أثناء غلق بلف التهريب

* يجب تركيب نظام تهريب ضغط الـ Surge بالأماكن الآتية:

١- على خط الطرد الرئيسى للطلمبات بمحطات التدفيع

٢- على خط الإستلام الرئيسى قبل(مجمع بلوف إستلام البترول على المستودعات) بمحطات التخزين والإستلام

٣- على خط طرد الطلمبات بأنظمة الشحن والتفريغ للناقلات البحرية(السفن) كما يتضح من شكل(٥١)

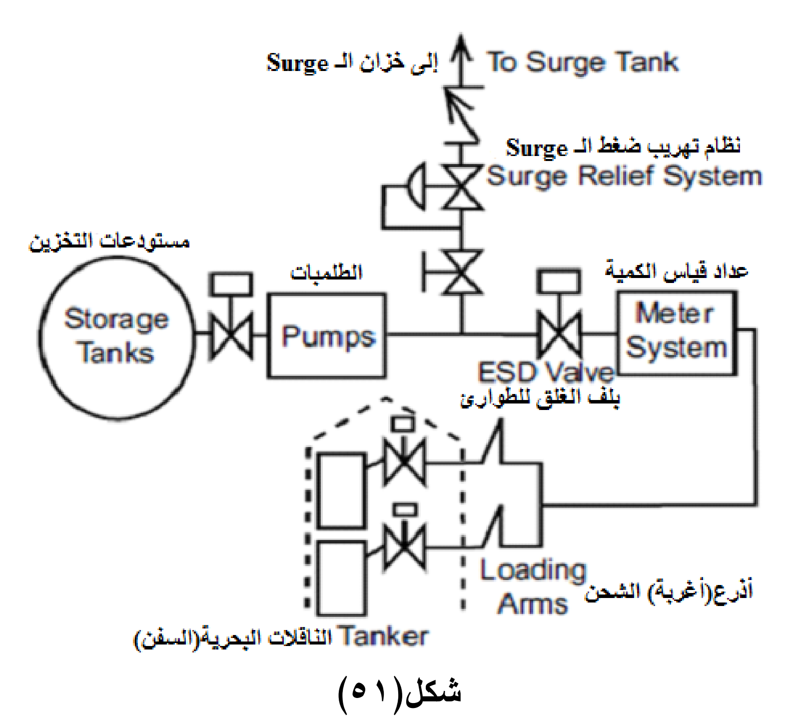
* ظاهرة الـ Surge بأنظمة الشحن والتفريغ للناقلات البحرية(السفن) يمكن أن تسبب كسر/تلف بكلاً من:

أ- خراطيم الشحن أو أذرع(أغربة) الشحن Loading hoses or Loading arms

ب- عوامات(شمندورات) الشحن Loading buoyes

ج- خطوط الإمداد Feed pipework

* لذلك يفضل فى حالة التوقف الإضطرارى أن يتم أولاً إيقاف الطلمبات ثم غلق بلوف الطوارئ ESD Valves (Emergency Shutdown Valves) وذلك لتخفيض ضغط الـ Surge



شكل(٥١)

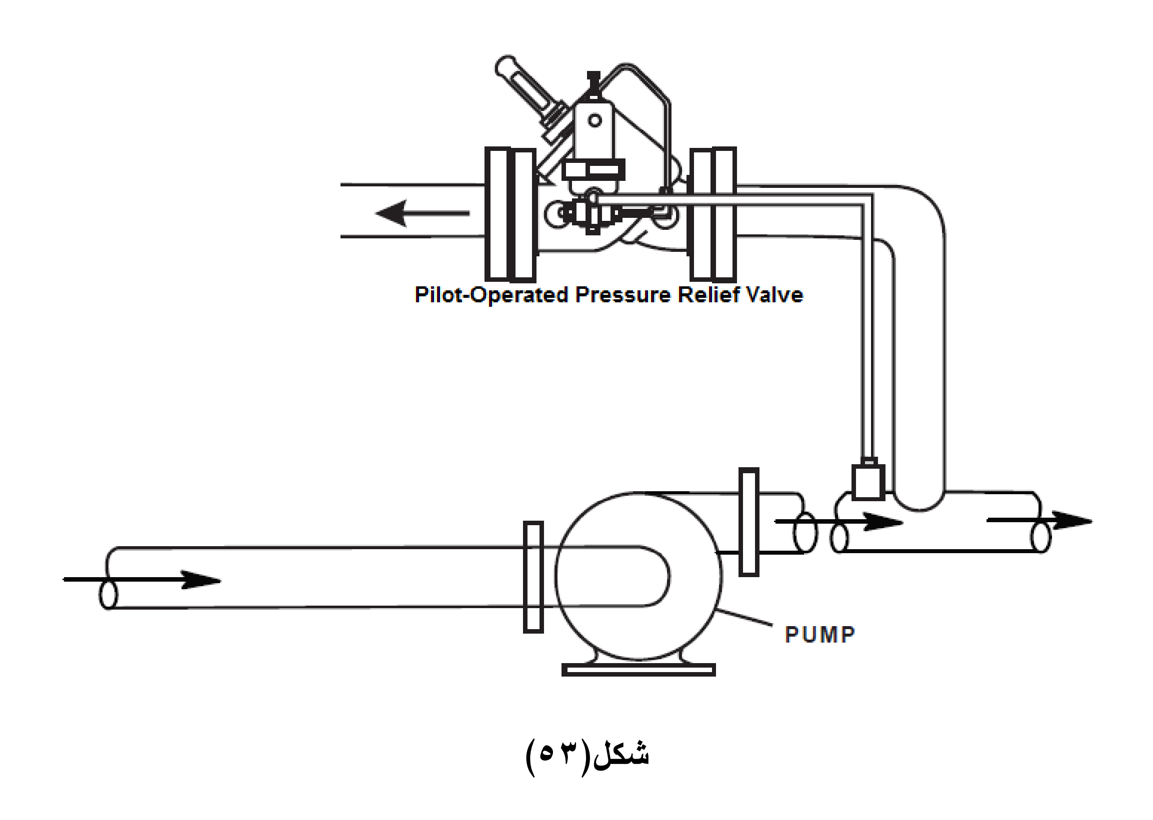
* يوجد نوعان من بلوف التهريب Surge Relief Valves المستخدمة بخطوط الأنابيب وهما:

١- Pilot-operated Pressure Relief Valve كما يتضح من الأشكال(٥٣،٥٢) ويستخدم هذا النوع من بلوف التهريب لحماية الطلمبة من إرتفاع ضغط الطرد ، وفى الحالات التى تتطلب تهريب الضغط حفاظاً على قيمة محددة Set Point لضغط خط الأنابيب

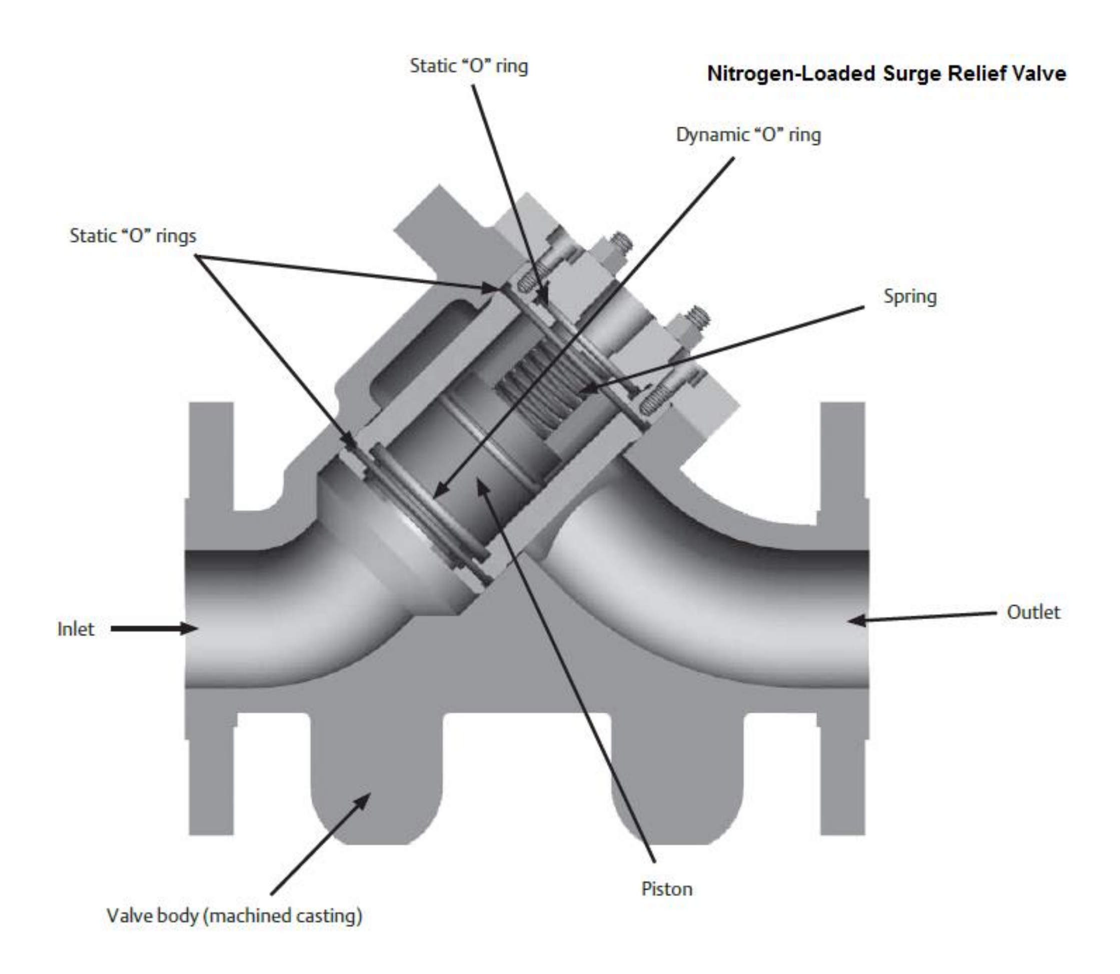
٢- Nitrogen-Loaded Surge Relief Valve كما يتضح من الأشكال(٥٦،٥٥،٥٤) ويستخدم هذا النوع من بلوف التهريب لحماية خط الأنابيب من إرتفاع الضغط الناتج عن ظاهرة الـ Surge والتى تستوجب فتح بلف التهريب بالكامل Fully Open وبسرعة عالية ويعد هذا النوع من بلوف التهريب سريع الإستجابة عن النوع الأول



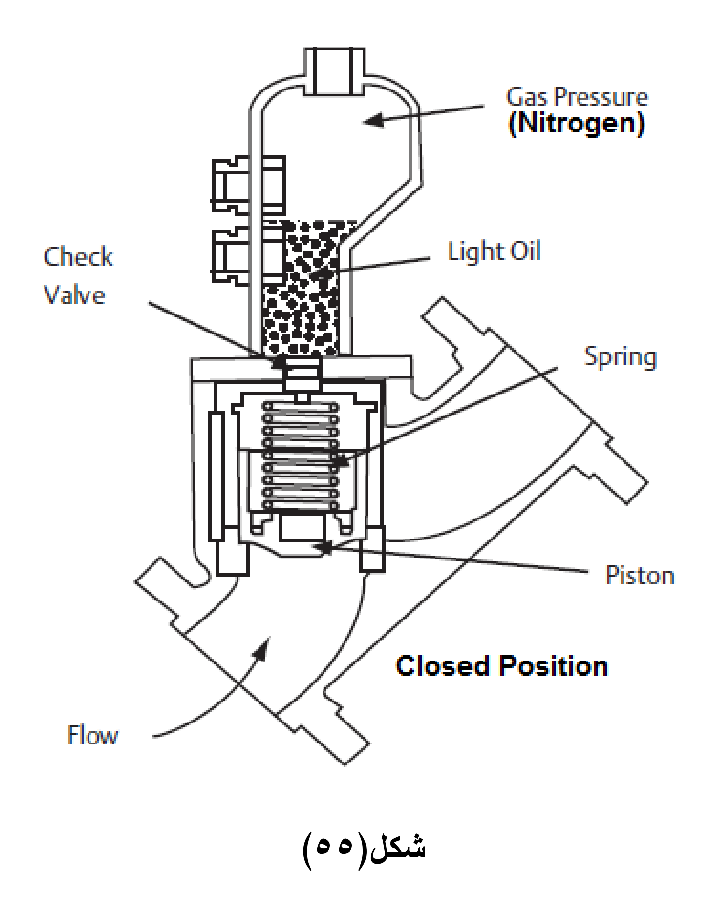
شكل(٥٢)


Pilot-Operated Pressure Relief Valve
PUMP

شكل(٥٣)

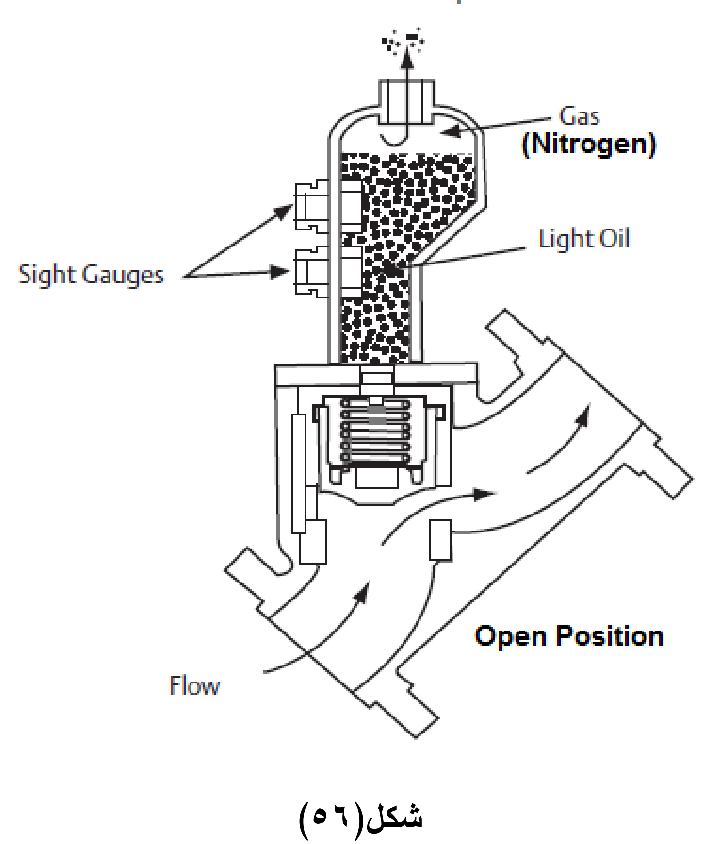

Static "O" ring
Nitrogen-Loaded Surge Relief Valve
Dynamic "O" ring
Static "O" rings
Spring
Inlet
Outlet
Piston
Valve body (machined casting)

شكل(٥٤)


Gas Pressure
(Nitrogen)
Light Oil
Check
Valve
Spring
Piston
Closed Position
Flow

شكل(٥٥)


Gas Pressure Expelled


Gas
(Nitrogen)
Light Oil
Sight Gauges
Open Position
Flow

شكل(٥٦)

* يستخدم غاز النتروجين لضغط مكبس بلف التهريب لكى يحافظ على وضع البلف مغلق بحيث أن ضغط غاز النتروجين الداخل على بلف التهريب يكون ثابت بصفة دائمة ويساوى تقريباً

الـ Set Point =١١٠% من ضغط التشغيل للخط

* يجب إستخدام أنابيب(إسطوانات) غاز نتروجين مطابقة للمواصفات القياسية Standard

* يجب الحفاظ على ثبات درجة حرارة غاز النتروجين ويتم ذلك بإنزال خزان الغاز تحت الأرض والردم عليه أو العزل الحرارى لخزان الغاز

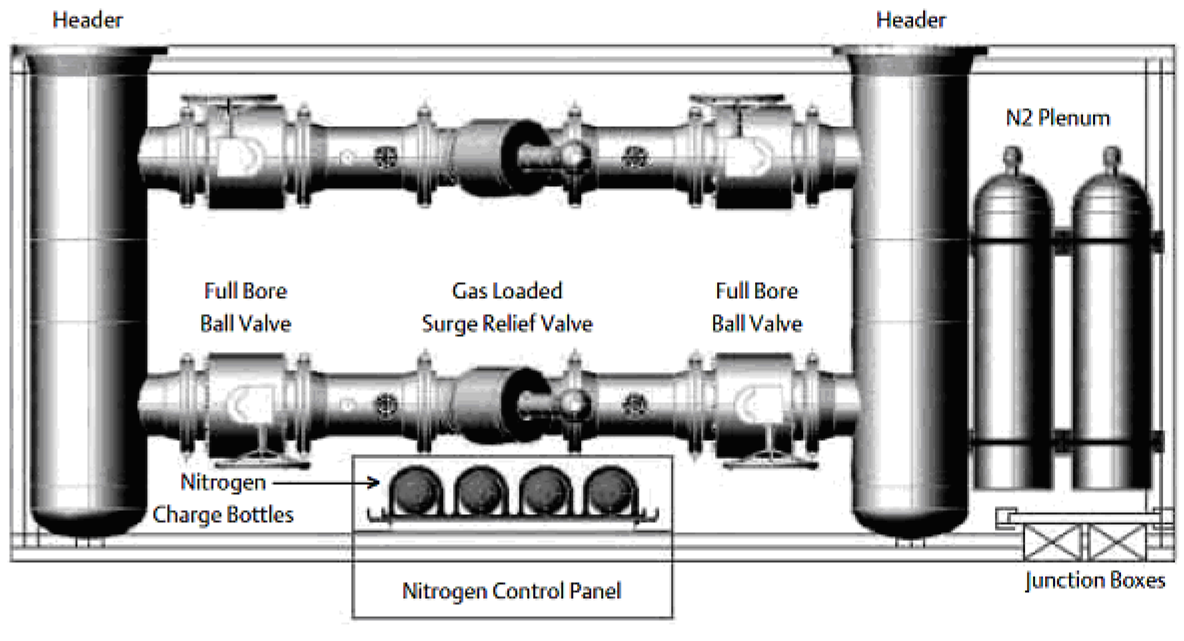
* تقوم بعض الشركات الأمريكية المتخصصة مثل EMERSON & DANIEL بتصنيع أنظمة تهريب ضغط الـ Surge(Surge Relief Systems) ويتم تصنيع كل نظام وحدة متكاملة Skid كما يتضح من الأشكال(٥٩،٥٨،٥٧) حيث يجب أن تحتوى كل وحدة على المقاس الصحيح والمناسب لمجمع Header الدخول والخروج ، وعلى البلوف القاطعة Isolation Valves المركبة على التفريعات Piping Runs قبل وبعد بلوف تهريب الضغط وتكون هذه البلوف القاطعة فى العادة بلوف كروية كاملة المقطع Full-Port Ball Valves حيث أن لها أقل مقاومة للسريان(K = 0.1) ويفضل تركيب البلوف القاطعة فقط قبل بلوف التهريب وذلك لتوفير الحيز والتكلفة ، ويمكن تركيب جهاز قياس الكمية من نوع Ultrasonic بعد بلف تهريب الضغط وذلك لحساب كمية السائل المارة من بلف التهريب ، ويجب أن تحتوى التفريعات Piping Runs على الأجهزة الضرورية Necessary Instrumentation وهى مبين(Indicator) الضغط والحرارة وأيضاً ناقل إشارة(Transmitter) الضغط والحرارة

* تحدد بعض الشركات الأمريكية المتخصصة

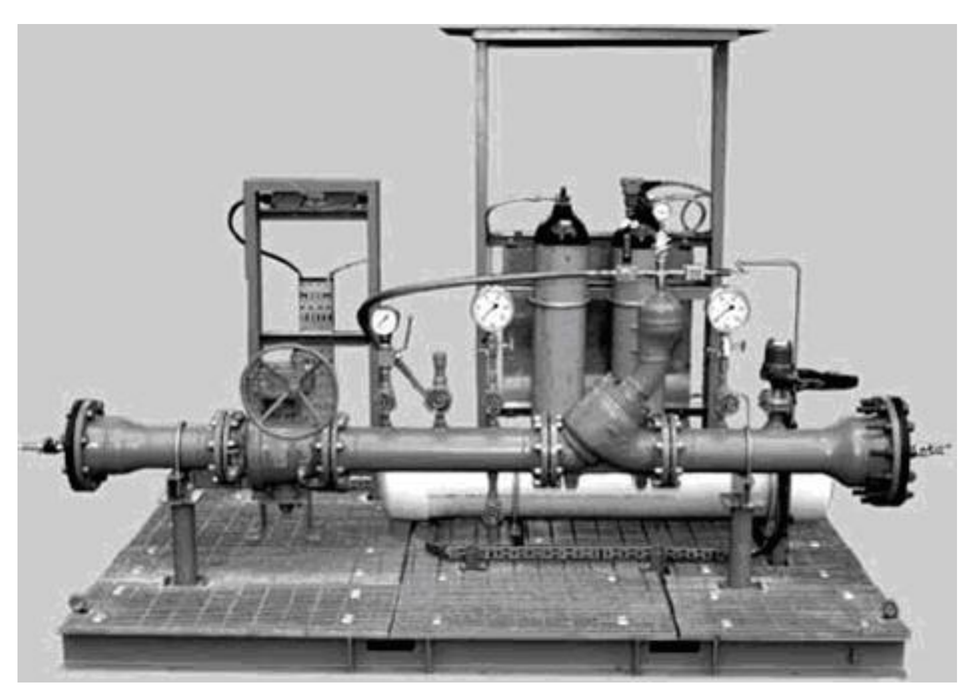
الأقطار المتاحة لبلوف التهريب Surge Relief Valves من ٢" حتى ١٦ بوصة

وضغوط ANSI 150 to ANSI 600 & 900

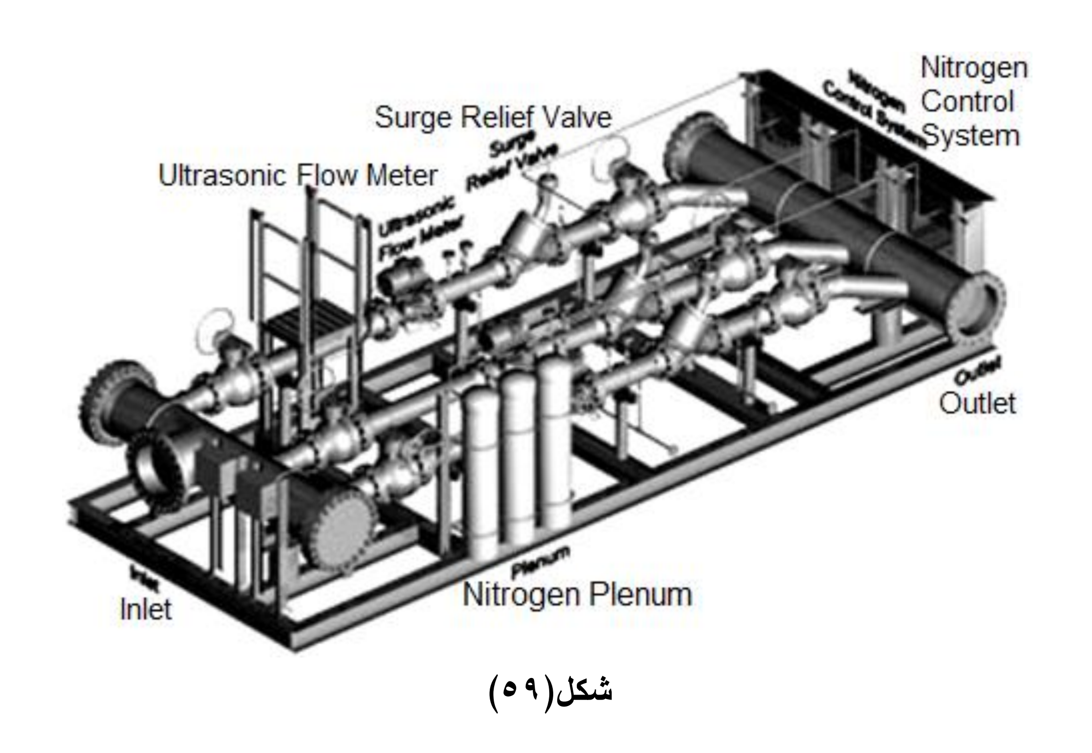
* عند توافر ظروف التمدد الحرارى Thermal Expansion فى خطوط الأنابيب الطويلة والمكشوفة فوق سطح الأرض أثناء توقف السريان بالخطوط وغلق البلوف يرتفع الضغط داخل خط الأنابيب ويمكن أن يتعدى ضغط التشغيل الآمن الذى يتحمله معدن الخط مما يتطلب تهريب الضغط عن طريق تركيب بلوف تهريب الضغط للأمان Safety Relief Valves والنوع الشائع الإستخدام لهذه البلوف هو Spring-Loaded Pressure Safety Valves ، علماً بأن هذه البلوف لا تستخدم لحماية الخط من الـ Surge حيث أنها لا تحقق السرعة الكافية لتهريب موجة الضغط المرتفعة الناتجة عن الـ Surge


Header
Header
N2 Plenum
Full Bore
Ball Valve
Gas Loaded
Surge Relief Valve
Full Bore
Ball Valve
Nitrogen
Charge Bottles
Nitrogen Control Panel
Junction Boxes

شكل(٥٧)



شكل(٥٨)


Nitrogen
Control
System
Surge Relief Valve
Ultrasonic Flow Meter
Outlet
Nitrogen Plenum
Inlet

شكل(٥٩)

ملحق(٧)
Units Conversion تحويل الوحدات

يوجد نظامين للوحدات وهما:

* النظام المترى للوحدات سنتيمتر . جرام . ثانية(سم . جم . ثانية)
* النظام الانجليزى للوحدات قدم . رطل . ثانية(قدم . رطل . ثانية)
* بوادئ الوحدات

الميكرو = 10^{-6}

المللى = 10^{-3}

السنتى = 10^{-2}

الديسى = 10^{-1}

الديكا = 10

الهيكتو = 10^{2}

الكيلو = 10^{3}

الميجا = 10^{6}

الجيجا = 10^{9}

التيرا = 10^{12}

* الطول Length

inch = 2.54 cm = 25.4 mm
ft = 12 inch = 30.48 cm = 0.3048 mt
mile = 1.6093 kmt
mm = 1000 micron

* الكتلة Mass

$\text{dyne} = \text{gm} . \text{cm} / \text{sec}^2$
$\text{N (Newton)} = \text{kg} . \text{mt} / \text{sec}^2 = 10^5 \text{ dyne}$
$\text{kg} = 9.807 \text{ N} = 9.807 \times 10^5 \text{ dyne}$
kg = 2.2046 lb
lb = 4.448 N

* الحجم/السعة Volume/Capacity

$\text{inch}^3 = 16.38706 \text{ cm}^3$
$\text{ft}^3 = 0.02831685 \text{ mt}^3$
$\text{litre} = 1000 \text{ cm}^3$
$\text{millilitre} = 10^{-3} \text{ litre} = \text{cm}^3$

us gallon = 0.003785412 mt^3
us gallon = 3.785 litres
us gallon = 0.83267 imperial gallon
us barrel = 0.1589873 mt^3
us barrel = 159 litres
us barrel = 42 us gallons
gallons(u.k.liquid) = 4.54609 litres

* Density الكثافة

lb/ft^3 = 16.02 kg/ mt^3
lb / gallon = 99.7763 kg/ mt^3
lb / us gallon= 119.8264 kg/ mt^3

* Pressure الضغط

kg/cm^2 = 14.22334492 psi (lb/in^2)
bar = 1.0197 kg/cm^2
bar = 14.500134 psi
bar = 10^5 Pa (pascal = N/mt^2)
bar = 100 kpa
bar = 0.1 Mpa
N/mm^2 = 145.00134 Psi
Mpa = 10 bar
lb/in^2 = 68.94757 mbar (millibar)
p_{atm} = 1.01325 bar
p_{atm} = 1.033211 kg/cm^2
p_{atm} = ٧٦ سم زئبق = 76 cm(HG)
1 mm HG ($0°C$) = 1.33322 x 10^{-3} bar
1 mm WG ($4°C$) = 98.0665 x 10^{-6} bar
1mm water = 9.8 pa (pascal)
1inch HG ($0°C$) = 33.8638 x 10^{-3} bar
1inch WG ($4°C$) = 2.49082 x 10^{-3} bar

* Volume Flow السريان الحجمى

ft^3/min = 40.776 mt^3 /day
us barrel / hr = 3.8157 mt^3 /day
(million ft^3/day) × 1.17986875 = (thousand mt^3/hr)
us gpm = 0.22712472 mt^3/hr
us gpm = 6.309020 × 10^{-5} mt^3/sec
us gpm = 3.785 litre/min
litre/min = 0.06 mt^3/hr

* السريان الكتلى Mass Flow

lb /hr = 10.886 kg/day

$$Flow\,(mt^3/hr) = \frac{Flow\,(lb/\min) \times 0.06}{2.2046 \times sp.gr}$$

* القدرة/الطاقة Power/ Energy

Btu = 1.055056 kJ (Joule = N . mt)

kwh = 3.6 MJ

Therm i.e British Thermal Unit(Btu) = 105.5056 MJ

kcal = 4.1868 kJ

HP (Metric) = 75 kg . mt/sec = 735.5 watts

kw = 1.36 HP (Metric)

Imperial Mechanical Horsepower i.e HP (English) = 550 lb.ft/sec
= 745.7 watts
= 1.014 HP (Metric)

kw = 1.34 HP (English)

* درجات الحرارة Temperatures

$$°C = (°F - 32)/1.8$$

$$°K = °C + 273.15$$

* اللزوجة Viscosity

$$poise = \frac{dyne \times \sec}{cm^2} = \text{عددياً} \quad \frac{gm}{cm \times \sec}$$

$$centipoise \times 10^{-3} = \frac{N \times \sec}{mt^2} = \text{Pa.sec}$$

$$\frac{lb \times \sec}{ft^2} = 0.0000208855\ c.p.(centipoise)$$

$$stoke = \frac{cm^2}{\sec}$$

$$centistoke\ (cst) = \frac{mm^2}{\sec}$$

$$centistoke\ (cst) \times 10^{-6} = \frac{mt^2}{\sec}$$

$$\frac{ft^2}{\sec} = 0.107639\ cst$$

$$cst = \frac{c.p.}{sp.gr} = \frac{c.p.}{density\,(gm/cm^3)}$$

المراجــــع

1- MODERN PETROLEUM TECHNOLOGY 4th Edition Edited by G.D.HOBSON B.Sc., Ph.D., D.I.C., F.G.S., A.R.S.M., F.Inst.Pet. Reader in Oil Technology, Imperial College of Science and Technology, London in collaboration with W. POHL, B.Sc., F.Inst.Pet.
2- PUMPS/FANS/COMPRESSOR BY V.CHERKASSKY Mir Publishers Moscow
3- PUMP HANDBOOK Edited By IGOR J.KARASSIK WILLIAM C.KRUTZSCH WARREN H.FRASER Worthington Pump Inc. And JOSEPH P.MESSINA Public Service Electric And Gas Company New Jersy Institute Of Technology Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY
4- Practical Pumping Handbook by Ross MacKay, Publisher: Elsevier Science& Technology Books
5- Engineering Specification for the Selection,Installation and Maintenance of Pipeline Strainer(www.fluidcontrolsinstitute.org)
6- Pipe Drafting and Design second edition by Roy A. Parisher&Robert A.Rhea
7- Papers Edited In American Specialized Companies Such as EMERSON & DANIEL, M&J VALVE
8- Articles Edited In Pipeline & Gas Journal
9- Articles Edited In Pipeline Industry Magazine
10- ISA Publications In Tech Magazine
11- خبرة صاحب هذه الدراسة فى مجال نقل البترول بخطوط الأنابيب



بسم الله الرحمن الرحيم

قام برفع هذه النسخة :

د محمد أحمد محمد عاصم

نسألكم الدعاء